

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DESARROLLO DE UNA INTERFAZ GRÁFICA DE  
USUARIO EN MATLAB PARA EL DISEÑO DE  
ASCENSORES ELÉCTRICOS DISAE 1.0**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**Ingeniería Técnica Industrial: Mecánica**

**AUTOR:** D. IVÁN MUÑOZ ÍÑIGO

**TUTORA:** Dra. MARÍA JESÚS LÓPEZ BOADA

Leganés, enero de 2013

# Resumen

---

El presente proyecto se centra en el diseño y construcción de la interfaz gráfica de usuario DISAE 1.0 (DISeño de Ascensores Eléctricos), mediante la cual es posible diseñar y calcular las guías de deslizamiento, los cables de suspensión y la polea de tracción de un ascensor eléctrico, cumpliendo la normativa vigente, Norma EN 81-1.

El trabajo desarrollado a lo largo de este proyecto puede dividirse en tres partes, una primera, en la que se realizan a mano las operaciones matemáticas necesarias para el cálculo de cada uno de los tres elementos del ascensor y en el que se toman las consideraciones de diseño oportunas. Una segunda, centrada en la elaboración de la interfaz gráfica de usuario, la cual está basada en los cálculos de la primera parte, en el diseño de sus pantallas y en la programación de las acciones de todos los componentes que forman parte de éstas, para lo que se hace uso de la herramienta GUIDE de MATLAB. Y una última parte, en la que tiene lugar la prueba de la aplicación creada, para un caso real, y la comparación de sus resultados con los obtenidos a mano, comprobándose la igualdad de los mismos.

**Palabras clave:** ascensor, guías, cables, polea, cabina, contrapeso, paracaídas, deslizamiento, suspensión, rozamiento, GUIDE, MATLAB.

# Abstract

---

This project focuses on the design and construction of the graphical user interface DISAE 1.0 (Design of Electric Lifts), whereby it is possible to design and calculate the sliding guides, the suspension ropes and the traction sheave of an electric lift, in accordance with current legislation, Standard EN 81-1.

The work developed along this project can be divided into three parts, a first, where hand mathematical operations are done in order to calculate each of the three elements of the lift and where the appropriate design considerations are taken. A second, focused on the development of the graphical user interface, which is based on the calculations of the first part, on the design of their screens and the programming of the actions of all the components that are part of them, to which it is made use of the GUIDE MATLAB tool. And the last part, where it takes place the created software test, for a real case, and comparing their results with those obtained by hand, found them equal.

**Keywords:** lift, guides, ropes, sheave, cab, counterweight, parachute, sliding, suspension, friction, GUIDE, MATLAB.

# Índice

---

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....</b>              | <b>1</b>  |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....   | 1         |
| 1.2 OBJETIVOS .....  | 2         |
| 1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....                               | 2         |
| <b>CAPÍTULO 2: ASCENSORES.....</b>                             | <b>4</b>  |
| 2.1 DEFINICIÓN .....   | 4         |
| 2.2 TIPOS DE ASCENSORES .....                                  | 5         |
| 2.2.1 Ascensor hidráulico.....                                 | 6         |
| 2.2.2 Ascensor eléctrico.....                                  | 7         |
| 2.2.3 Otros ascensores .....                                   | 11        |
| 2.3 ELEMENTOS DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO .....                   | 11        |
| 2.3.1 Cuarto de máquinas.....                                  | 11        |
| 2.3.2 Hueco.....   | 14        |
| 2.3.3 Foso .....   | 17        |
| <b>CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO .....</b>       | <b>19</b> |
| 3.1 DISPOSICIONES PREVIAS A LOS CÁLCULOS .....                 | 19        |
| 3.2 NORMATIVA .....  | 21        |
| 3.3 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LAS GUÍAS DE DESLIZAMIENTO..... | 21        |
| 3.3.1 Guías de la cabina .....                                 | 21        |
| 3.3.2 Guías del contrapeso .....                               | 47        |
| 3.4 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LOS CABLES DE SUSPENSIÓN .....  | 54        |
| 3.5 CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA POLEA DE TRACCIÓN .....      | 57        |
| <b>CAPÍTULO 4: SOFTWARE EMPLEADO.....</b>                      | <b>68</b> |
| 4.1 MATLAB .....   | 68        |
| 4.2 GUIDE.....   | 70        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DISAE 1.0</b>  | <b>77</b>  |
| 5.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  | 77         |
| 5.2 INTERFACES CREADAS   | 80         |
| 5.3 RESTRICCIONES DE USO   | 82         |
| <b>CAPÍTULO 6: RESOLUCIÓN DE UN CASO REAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DISAE 1.0</b> | <b>83</b>  |
| 6.1 PASOS A SEGUIR. SECUENCIAS DE LA APLICACIÓN                                | 83         |
| 6.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS  | 98         |
| <b>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS</b>                             | <b>102</b> |
| 7.1 CONCLUSIONES   | 102        |
| 7.2 TRABAJOS FUTUROS   | 103        |
| <b>REFERENCIAS</b>   | <b>104</b> |
| <b>ANEXO A</b>   | <b>108</b> |
| <b>ANEXO B</b>   | <b>112</b> |
| <b>ANEXO C</b>   | <b>114</b> |
| <b>ANEXO D</b>   | <b>116</b> |

# Índice de figuras

---

## **CAPÍTULO 2: ASCENSORES**

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 2.1 INSTALACIÓN TÍPICA DE UN ASCENSOR HIDRÁULICO [3].....  | 6  |
| FIGURA 2.2 TIPOS DE ACCIONAMIENTOS Y TIROS DE UN ASCENSOR HIDRÁULICO [3]. ....                                  | 7  |
| FIGURA 2.3 INSTALACIÓN TÍPICA DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO [2].....   | 8  |
| FIGURA 2.4 DIAGRAMA VELOCIDAD-RECORRIDO PARA MOTORES DE UNA Y DOS VELOCIDADES [4]. ....                         | 9  |
| FIGURA 2.5 VELOCIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE UN ASCENSOR DE MP ASCENSORES CON VARIADOR DE FRECUENCIA [4]. .... | 9  |
| FIGURA 2.6 PERFILES DE GARGANTAS DE POLEAS DE TRACCIÓN [6].....   | 12 |
| FIGURA 2.7 POLEAS DE LIMITADOR DE VELOCIDAD [2].....  | 13 |
| FIGURA 2.8 TIPOS DE APOYOS SOBRE LAS GUÍAS [7] Y [8]. ....  | 15 |
| FIGURA 2.9 CONSTITUCIÓN DE UN CABLE Y SUS DISTINTAS CONFIGURACIONES [2] Y [9].....                              | 15 |
| FIGURA 2.10 PARACAÍDAS DE ACCIÓN INSTANTÁNEA [2]. ....  | 16 |
| FIGURA 2.11 PARACAÍDAS DE ACCIÓN PROGRESIVA [2] Y [10]. ....  | 17 |
| FIGURA 2.12 TIPOS DE AMORTIGUADORES [2]. ....   | 18 |

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO**

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 3.1 FUERZAS EN LAS GUÍAS DEBIDO A UNA DISTRIBUCIÓN DE CARGA DESIGUAL [14].....       | 23 |
| FIGURA 3.2 ESQUEMA ACOTADO DE UNA CONFIGURACIÓN GENERAL [6]. ....                           | 24 |
| FIGURA 3.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGA RESPECTO AL EJE X PARA UNA CONFIGURACIÓN GENERAL [6]. .... | 24 |
| FIGURA 3.4 DISTRIBUCIÓN DE CARGA RESPECTO AL EJE Y PARA UNA CONFIGURACIÓN GENERAL [6]. .... | 34 |
| FIGURA 3.5 ESQUEMA ACOTADO DE UN CONTRAPESO. ....   | 48 |
| FIGURA 3.6 ESQUEMA Y DIAGRAMA DE FUERZAS DE UNA SUSPENSIÓN 1:1 [15].....                    | 55 |
| FIGURA 3.7 POSICIONES DEL ASCENSOR PARA LA CONDICIÓN DE CARGA EN CABINA. ....               | 58 |
| FIGURA 3.8 POSICIONES DEL ASCENSOR PARA LA CONDICIÓN DE FRENADO DE EMERGENCIA.....          | 60 |
| FIGURA 3.9 POSICIÓN DEL ASCENSOR PARA LA CONDICIÓN DE CABINA RETENIDA. ....                 | 63 |

## **CAPÍTULO 4: SOFTWARE EMPLEADO**

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 4.1 PANTALLA INICIAL DEL PROGRAMA MATLAB R2011B..... | 70 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 4.2 PANTALLA DEL EDITOR DE DISEÑO DE GUIDE. .... | 72 |
| FIGURA 4.3 PANTALLA DEL EDITOR DE CÓDIGO DE GUIDE. .... | 75 |
| FIGURA 4.4 PANTALLA DE LA GUI EJECUTADA. ....           | 76 |

## **CAPÍTULO 6: RESOLUCIÓN DE UN CASO REAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DISAE 1.0**

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 6.1 PANTALLA DE LA INTERFAZ PRESENTACION DE LA APLICACIÓN DISAE 1.0. .... | 84 |
| FIGURA 6.2 PANTALLA DE LA INTERFAZ INTRODATCOMUN. ....                           | 84 |
| FIGURA 6.3 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECELEMENTO. ....                           | 85 |
| FIGURA 6.4 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECONFIG. ....                              | 85 |
| FIGURA 6.5 PANTALLA DE LA INTERFAZ INTRODATOSG. ....                             | 86 |
| FIGURA 6.6 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECGUIA. ....                               | 87 |
| FIGURA 6.7 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTCASO1. ....                             | 87 |
| FIGURA 6.8 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTCASO1_2. ....                           | 88 |
| FIGURA 6.9 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTCASO12_3. ....                          | 88 |
| FIGURA 6.10 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECGUIA. ....                              | 89 |
| FIGURA 6.11 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTCASO2. ....                            | 89 |
| FIGURA 6.12 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTCASO2_2. ....                          | 90 |
| FIGURA 6.13 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECGUIA. ....                              | 90 |
| FIGURA 6.14 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECONFIG. ....                             | 91 |
| FIGURA 6.15 PANTALLA DE LA INTERFAZ INTRODATOSCP. ....                           | 92 |
| FIGURA 6.16 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTCP. ....                               | 92 |
| FIGURA 6.17 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECGUIACP. ....                            | 93 |
| FIGURA 6.18 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECSUSPEN. ....                            | 93 |
| FIGURA 6.19 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECONFIGSUSPEN. ....                       | 94 |
| FIGURA 6.20 PANTALLA DE LA INTERFAZ INTRODATSUSPEN. ....                         | 94 |
| FIGURA 6.21 PANTALLA DE LA INTERFAZ INTRODATPOLEA. ....                          | 95 |
| FIGURA 6.22 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECPOLEA. ....                             | 96 |
| FIGURA 6.23 PANTALLA DE LA INTERFAZ RESULTPOLEA. ....                            | 96 |
| FIGURA 6.24 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECPOLEA. ....                             | 97 |
| FIGURA 6.25 PANTALLA DE LA INTERFAZ SELECELEMENTO. ....                          | 97 |

# Índice de tablas

---

## **CAPÍTULO 2: ASCENSORES**

|  |    |
|--|----|
| TABLA 2.1 COMPARATIVA ENTRE ASCENSORES ELÉCTRICOS E HIDRÁULICOS [2] Y [5]. | 10 |
|--|----|

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO**

|  |    |
|--|----|
| TABLA 3.1 DIMENSIONES DE UN ASCENSOR OTIS CON CAPACIDAD PARA 6 PERSONAS Y 450 KG [11] Y [12].  | 20 |
| TABLA 3.2 ESFUERZOS ADMISIBLES ( $\Sigma_{\text{PERM}}$ ) EN N/MM <sup>2</sup> EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN ( $R_m$ ) DE LAS GUÍAS EN N/MM <sup>2</sup> [6]. | 22 |
| TABLA 3.3 FACTORES DE IMPACTO [6].   | 26 |
| TABLA 3.4 COMPARACIÓN DE LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO.  | 67 |

## **CAPÍTULO 4: SOFTWARE EMPLEADO**

|  |    |
|--|----|
| TABLA 4.1 HERRAMIENTAS DISPONIBLES EN EL EDITOR DE DISEÑO DE GUIDE [20].                   | 72 |
| TABLA 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DISPONIBLES EN EL EDITOR DE DISEÑO DE GUIDE [20]. | 73 |

## **CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DISAE 1.0**

|  |    |
|--|----|
| TABLA 5.1 VALORES LÍMITE DE LAS RESTRICCIONES DE USO DE LA APLICACIÓN DISAE 1.0. | 82 |
|--|----|

## **CAPÍTULO 6: RESOLUCIÓN DE UN CASO REAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DISAE 1.0**

|   |     |
|---|-----|
| TABLA 6.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS GUÍAS DE LA CABINA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN COMPONENTE DE SEGURIDAD, CASO 1. | 98  |
| TABLA 6.2 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS GUÍAS DE LA CABINA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN COMPONENTE DE SEGURIDAD, CASO 2. | 99  |
| TABLA 6.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS GUÍAS DE LA CABINA PARA EL FUNCIONAMIENTO NORMAL, CASO 1.                        | 99  |
| TABLA 6.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS GUÍAS DE LA CABINA PARA EL FUNCIONAMIENTO NORMAL, CASO 2.                        | 99  |
| TABLA 6.5 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS GUÍAS DE LA CABINA PARA LA SITUACIÓN DE CARGA.                                   | 100 |



|   |     |
|---|-----|
| TABLA 6.6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS GUÍAS DEL CONTRAPESO PARA EL FUNCIONAMIENTO NORMAL. .... | 100 |
| TABLA 6.7 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS CABLES DE SUSPENSIÓN. ....                               | 100 |
| TABLA 6.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA POLEA PARA LA CONDICIÓN DE CARGA EN CABINA. ....          | 100 |
| TABLA 6.9 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA POLEA PARA LA CONDICIÓN DE FRENADO DE EMERGENCIA. ....    | 101 |
| TABLA 6.10 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA POLEA PARA LA CONDICIÓN DE CABINA RETENIDA.....          | 101 |

# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

---

### 1.1 Introducción

El ascensor es en la actualidad uno de los medios de transporte más utilizados por las personas. Desde su invención, tal y como se conoce hoy en día, a mediados del siglo XIX su uso no ha hecho más que aumentar, expandiéndose por todo el mundo, y permitiendo que las personas puedan desplazarse verticalmente, en un edificio o en una estación de metro, de una forma rápida y segura. Esto ha contribuido a modificar el aspecto de las ciudades debido a que éstas han sufrido un proceso de crecimiento en altura, con grandes edificios y rascacielos con los que aprovechar mejor el terreno de las ciudades.

Suelen clasificarse en ascensores eléctricos e hidráulicos, siendo los eléctricos los más instalados, ya que no tienen limitación en altura.

La finalidad principal de un ascensor, o la más común, es la de transportar personas y las cargas que éstos portan, aunque también se utilizan para el desplazamiento exclusivo de cargas a diferentes niveles.

El ascensor está formado por múltiples y complejos elementos, que requieren de una gran cantidad de cálculos para ser diseñados, por tanto, que el aparato elevador funcione correctamente y cumpla con todos los requisitos de seguridad establecidos por la normativa depende del correcto diseño y cálculo que se haga de cada uno de los componentes que forman parte de él.

Hoy en día, existen o es posible crear aplicaciones informáticas con las que poder realizar el diseño de cualquier parte o elemento de un ascensor y llevar a cabo su cálculo de una manera rápida, sencilla y precisa, evitando cometer algún tipo de error a la hora de realizar los cálculos, como sí puede ocurrir cuando éstos se hacen a mano.

## 1.2 Objetivos

El principal objetivo de este Proyecto Fin de Carrera es el de desarrollar una interfaz gráfica de usuario mediante la cual sea posible diseñar y calcular las guías de deslizamiento, los cables de suspensión y la polea de tracción de un ascensor eléctrico.

La elaboración de esta interfaz debe ser realizada a través de la herramienta GUIDE del *software* MATLAB, y cumplir con la normativa vigente y aplicable a este tipo máquinas, Norma EN 81-1.

Por último, es necesario comprobar la efectividad de la aplicación creada y la validez de los resultados que de ella se desprenden, resolviendo un caso real mediante esta aplicación y comparando sus resultados con los obtenidos al realizar los cálculos a mano.

## 1.3 Estructura del proyecto

Este proyecto se encuentra dividido en nueve capítulos, siendo el primero de ellos la presente introducción (*Introducción y objetivos*), e incluyéndose a continuación una breve descripción de cada uno de ellos.

En el Capítulo 2 *Ascensores*, se explica qué es un ascensor, cómo han ido evolucionando los aparatos de elevación con el paso de los siglos, cuál es su clasificación más común, y qué elementos constituyen un ascensor eléctrico.

En el Capítulo 3 *Diseño de un ascensor eléctrico*, se llevan a cabo los cálculos para el diseño de las guías de deslizamiento, cables de suspensión y polea de tracción, siguiendo en todo momento la Norma EN 81-1.

En el Capítulo 4 *Software empleado*, se indica cuáles son las características y utilidades del programa MATLAB y de su herramienta GUIDE, especificando para esta última sus componentes y las funciones de éstos, así como su forma de proceder.

En el Capítulo 5 *Aplicación DISAE 1.0*, se explica cuál es el proceso que se sigue para la elaboración y construcción de la aplicación DISAE 1.0, y se describe brevemente las interfaces que la componen.

En el Capítulo 6 *Resolución de un caso real mediante la aplicación DISAE 1.0*, se indica cuáles son los pasos a seguir en esta aplicación, a la vez que se resuelve un caso real, para realizar el diseño de las guías, cables y polea, comparándose sus resultados finales con los obtenidos en el Capítulo 3.

En el Capítulo 7 *Conclusiones y trabajos futuros*, se explican las conclusiones a las que se ha llegado tras la construcción y posterior comprobación de la aplicación DISAE 1.0, además de proponer nuevas líneas de trabajo y mejoras para esta aplicación.

En el capítulo de *Referencias*, se indica cuáles han sido los documentos consultados y los programas informáticos utilizados a lo largo del proyecto.

Por último, el capítulo de *Anexos*, muestra los catálogos de los fabricantes, no en su totalidad, empleados para el cálculo de cada uno de los elementos diseñados en el proyecto. Para más información consultar el capítulo de *Referencias*.

# Capítulo 2

## Ascensores

---

### 2.1 Definición

Un ascensor se define como el aparato elevador instalado permanentemente en una edificación, ya sea un bloque de viviendas o una estación de metro, que llega a distintos niveles en función de las necesidades que se tengan que cubrir y que utiliza una cabina para el transporte de pasajeros y/u otras cargas, desplazándose al menos parcialmente, a lo largo de guías verticales o cuya inclinación sobre la vertical es inferior a  $15^\circ$  [1].

A lo largo de los siglos, los sistemas de transporte vertical han ido evolucionando al compás de las necesidades de las personas, primero en materia de construcción y de abastecimiento hídrico y más tarde, como medio de transporte.

Los primeros dispositivos de elevación y transporte tuvieron lugar alrededor del siglo XXII a.C. Un claro ejemplo de éstos se encuentra en la construcción de la pirámide de Cheops, en Egipto, para la que fue necesario el uso de palancas, poleas, rodillos y planos inclinados.

En el período grecorromano (siglo X a.C. a siglo V d.C.) tubo lugar la aparición de la polea compuesta o polipasto, obra del griego Herón de Alejandría, gracias a la cual se redujeron los esfuerzos necesarios para elevar las pesadas cargas. Aunque fueron los romanos los que más aplicaciones prácticas encontraron a este invento, prestando uso en grandes grúas o incluso en el primer ascensor, que fue instalado en el Palacio de Nerón.

Durante el período que comprende los siglos V d.C. y XVII d.C. se produce un perfeccionamiento de las máquinas de elevación ya conocidas, ampliándose su uso a otros sectores como la minería o la navegación.

Con la aparición de la máquina de vapor de James Watt en 1769 se comienza a utilizar esta forma de energía en los aparatos de elevación. En 1845, en Inglaterra, aparece el ascensor “Teagle”, que es accionado hidráulicamente y que introduce el concepto de polea de tracción con contrapeso. Pero no es hasta 1852 cuando Elisha Graves Otis diseña e instala el primer ascensor a vapor seguro, el cual presenta un dispositivo automático de seguridad que evita la caída del ascensor en caso de rotura del cable, hecho que junto con el uso del acero posibilita la construcción de edificios altos.

En 1878 se utiliza por primera vez un ascensor hidráulico que emplea agua y no vapor, simplificándose la instalación y consiguiendo elevar una cabina situada en el extremo de un pistón hidráulico. Estos ascensores eran silenciosos, con arranques y paradas suaves y precisas, pero con el inconveniente de su complicado y voluminoso equipo de bombeo. En la actualidad existen versiones modernas de estos elevadores.

Con la llegada de la electricidad el ascensor hidráulico fue dejando paso al eléctrico, primero con la aparición en 1889 del ascensor con tambor accionado por un motor de corriente continua, en lugar de vapor, y después en 1903 con el ascensor eléctrico con polea de tracción. Estos ascensores no tenían limitación en altura, aunque eran poco precisos en las paradas.

Ya en el siglo XX la evolución del ascensor eléctrico ha sido notable, desde la introducción de interruptores de cabina para poder accionar el ascensor en ambos sentidos, los detectores de posición para la parada de la cabina en el piso deseado o los dispositivos de seguridad de cierre de puertas, de principios y mediados de siglo, pasando por el uso de circuitos integrados y microprocesadores que ejecutan maniobras programadas, en las décadas de 1970 y 1980, y llegando a finales de siglo a la introducción de sistemas de frecuencia variable para el control de ascensores de alta velocidad, y al uso de motores lineales acoplados al contrapeso, que hacen innecesario un cuarto de máquinas [2].

## **2.2 Tipos de ascensores**

Los ascensores pueden clasificarse de acuerdo a distintas características, aunque la más importante de ellas es según su sistema de tracción, quedando divididos en hidráulicos y eléctricos.

### 2.2.1 Ascensor hidráulico

El ascensor hidráulico u oleodinámico (Figura 2.1) es aquel que se sirve de un fluido incompresible, en este caso de aceite, y sin un contrapeso para elevar una cabina que se encuentra situada en el extremo de un pistón hidráulico.

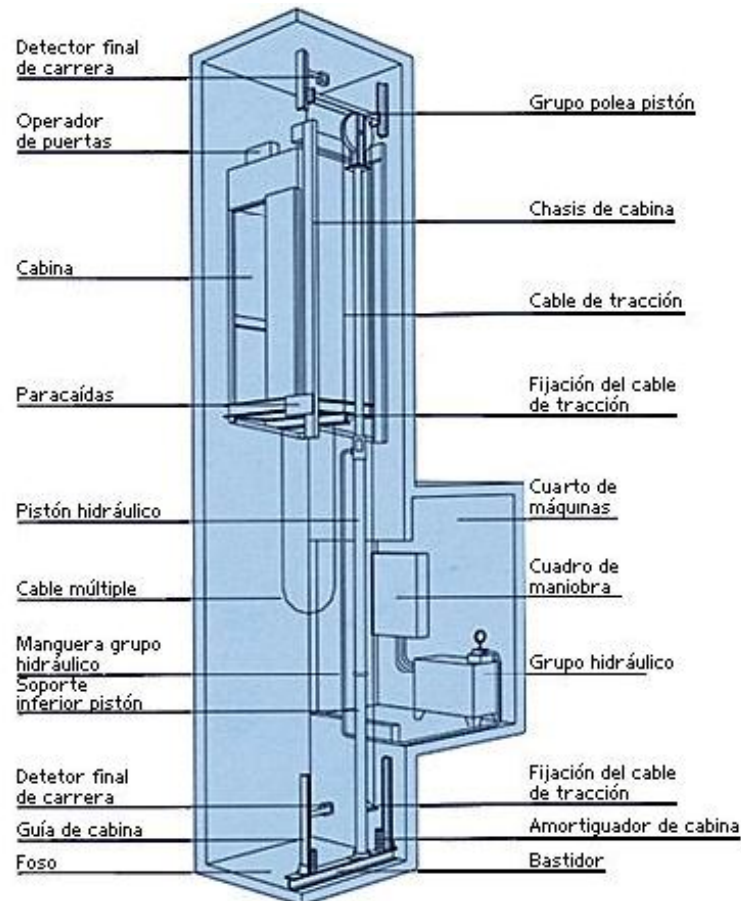


Figura 2.1 Instalación típica de un ascensor hidráulico [3].

El accionamiento se logra mediante una central hidráulica, formada por un motor eléctrico que está acoplado a una bomba hidráulica, la cual impulsa el aceite a presión a través de unas válvulas de maniobra y seguridad, desde un depósito a un cilindro, cuyo pistón es el que sostiene y empuja la cabina para ascender. En el descenso se deja vaciar el pistón del aceite contenido en él mediante una válvula con gran pérdida de carga, para que esta acción se produzca suavemente. De esta forma, el ascensor sólo consume energía en el ascenso.

Estos ascensores a su vez se pueden clasificar de dos maneras distintas, la primera, según la forma en la que se accione la cabina, y la segunda, según dónde esté posicionado el cilindro en el hueco del ascensor, tal y como se muestra en la Figura 2.2.

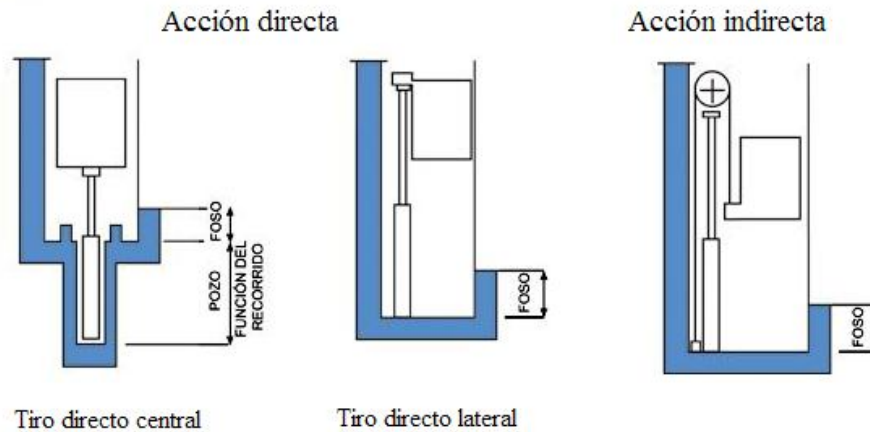


Figura 2.2 Tipos de accionamientos y tiros de un ascensor hidráulico [3].

En la primera, se encuentran los ascensores de acción directa e indirecta. En los ascensores de acción directa el pistón impulsa directamente la cabina, siendo utilizado generalmente en ascensores de bajo recorrido. En los ascensores de acción indirecta el movimiento del pistón, que está acoplado a un sistema de poleas, impulsa la cabina por medio de cables, permitiendo mayores recorridos y velocidades que los anteriores.

Y en la segunda, están los ascensores de tiro directo lateral, en los que el pistón está apoyado en el foso, próximo a una de las paredes y empujando al bastidor desde la parte superior, utilizándose en cabinas de poca anchura. También existen los que emplean dos cilindros, permitiendo alturas y cargas mayores, y solucionando el problema que presentan los de uno con la excentricidad de la carga respecto al pistón, que produce un excesivo rozamiento en las guías. Mientras que en los de tiro directo central el pistón se encuentra enterrado y empuja al bastidor de la cabina desde abajo, siendo muy utilizados para cortos recorridos y con un buen aprovechamiento del espacio [2] y [4].

### 2.2.2 Ascensor eléctrico

El ascensor eléctrico (Figura 2.3) es aquel que mediante un motor eléctrico proporciona movimiento vertical a un sistema en suspensión, el cual se compone por un lado, de una cabina de pasajeros, y por el otro, de un contrapeso.

Este tipo de ascensor está formado por un grupo tractor, consistente en un motor eléctrico, un freno, un reductor de velocidad acoplado al motor y una polea de tracción montada a la salida del eje del reductor, que es la que arrastra los cables de suspensión por adherencia. La cabina y el contrapeso se encuentran suspendidos de estos cables y guiados a través del hueco del ascensor por las guías. En algunos casos, principalmente en edificios de gran altura, existen cables de compensación que cuelgan de ambos y que los unen entre sí.



En materia de seguridad se encuentran el limitador de velocidad, el cable del limitador y el sistema de paracaídas. Y en cuanto a la instalación fija, aparte de las guías, se encuentran los amortiguadores, el cuarto de máquinas, las poleas y las puertas de acceso a los diferentes niveles.

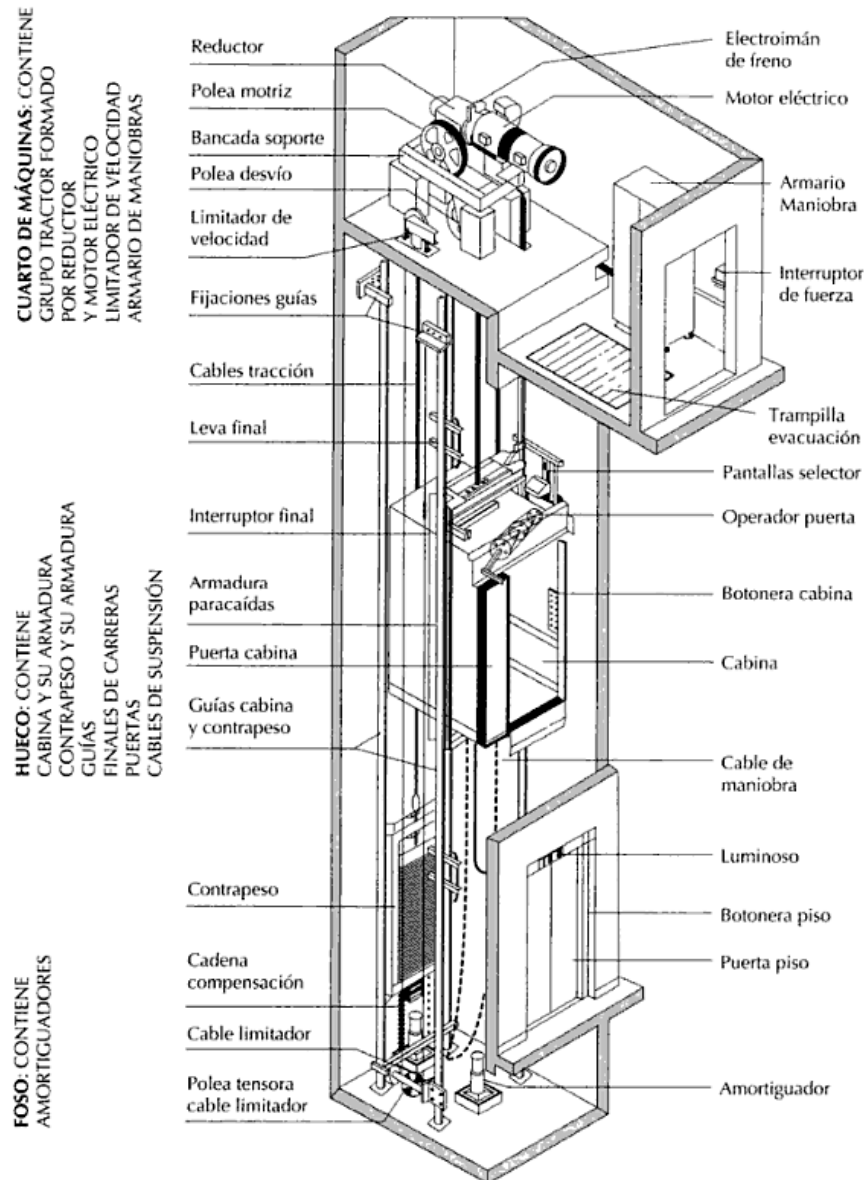


Figura 2.3 Instalación típica de un ascensor eléctrico [2].

A su vez, los ascensores eléctricos se pueden dividir en función del motor eléctrico que se instale en ellos en, ascensores de una velocidad, de dos velocidades y los que emplean variador de frecuencia.

Los motores de una velocidad se emplean en elevadores que no sobrepasan la velocidad de 0,70 m/s. Estos ascensores arrancan y paran a la misma velocidad de forma que la parada es más brusca y la nivelación menos precisa, por lo que presentan un nivel de confort bajo. Su mayor utilización tiene lugar en edificios de viviendas bajos.

Por otro lado, los motores de dos velocidades que son capaces de soportar el tráfico intenso se utilizan en ascensores con velocidades de hasta 1 m/s, en donde el elevador reduce la velocidad antes de producirse la parada (velocidad de nivelación, 0,25 m/s), mejorando los inconvenientes del caso anterior y aumentando el confort, empleándose en edificios de viviendas altos y oficinas.

En la Figura 2.4 aparece representado la velocidad en función de la distancia entre dos paradas consecutivas, donde se puede comprobar que el ascensor de dos velocidades llevará a cabo el recorrido con menores deceleraciones, y por lo tanto, con mayor confort para los pasajeros.

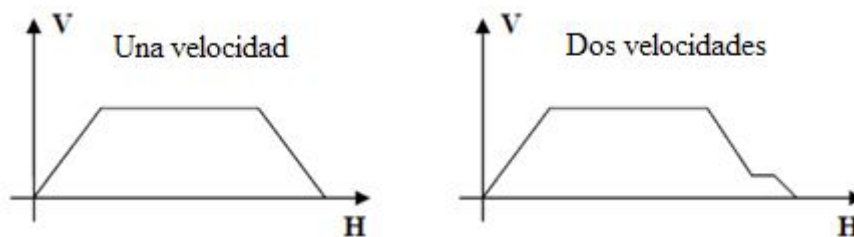


Figura 2.4 Diagrama velocidad-recorrido para motores de una y dos velocidades [4].

En último lugar, los que emplean variador de frecuencia, que les permite trabajar en un amplio rango de velocidades y que se utilizan en ascensores que no superan los 2,5 m/s de velocidad y los 2500 kg de carga. En estos elevadores, la parada tiene lugar a nivel de piso, sin micronivelación, reduciéndose el tiempo de marcha y aumentando la capacidad en lo que se refiere al tráfico.

Además, la gráfica de la velocidad en función del tiempo entre dos paradas consecutivas (Figura 2.5) presenta una forma curvada, lo que permite un arranque y parada más suave y confortable, y una nivelación aún más exacta respecto al de dos velocidades. Como consecuencia, sus consumos son más bajos y el desgaste de los frenos y el sufrimiento de los componentes mecánicos es menor [2] y [4].

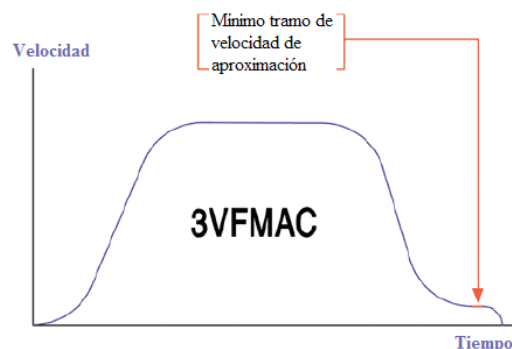


Figura 2.5 Velocidad en función del tiempo de un ascensor de MP Ascensores con variador de frecuencia [4].

Para completar la descripción de los ascensores eléctricos e hidráulicos, en la Tabla 2.1, se muestran las principales diferencias que existen entre estos dos sistemas de transporte vertical.

*Tabla 2.1 Comparativa entre ascensores eléctricos e hidráulicos [2] y [5].*

| <b>Características</b>   | <b>Eléctricos</b>   | <b>Hidráulicos</b>   |
|--|---|--|
| <b>Velocidad</b>   | Mayor que 1 m/s.  | Menor que 1 m/s.   |
| <b>Altura</b>  | Sin limitación de recorrido.  | Recorrido limitado a edificios de baja altura (15-18 m).   |
| <b>Carga</b>   | Menor capacidad de carga.   | Mayor capacidad de carga.  |
| <b>Utilización</b>   | Más extendido.  | Poco extendido.  |
| <b>Ubicación del cuarto de máquinas</b>                        | En la parte superior del edificio o en el hueco.  | En cualquier nivel del edificio, e incluso no anexo al hueco.  |
| <b>Flexibilidad de la instalación</b>                          | Menos flexible debido a sus características constructivas.  | Mayor, debido a su gran capacidad de adaptación.   |
| <b>Contrapeso</b>  | Es necesario. Ocupa espacio en el hueco.  | No tiene. Aprovechamiento total del hueco.   |
| <b>Coste de la instalación</b>                                 | Mayor, por el cuarto de máquinas arriba y el contrapeso.  | Relativamente económica.   |
| <b>Estructura del edificio</b>                                 | Las fuerzas y tensiones provocadas por el motor son transmitidas al suelo a través de las paredes del hueco, sobrecargándolas. Es necesario reforzar la estructura del hueco con un cubo de hormigón. | La carga de elevación se transmite directamente a la cimentación del edificio, sin sobrecargar la estructura. No precisa cubo de hormigón. |
| <b>Potencia instalada</b>                                      | Menor a igualdad de prestaciones que uno hidráulico. Tiene mayor rendimiento.   | Más elevada a igualdad de prestaciones que uno eléctrico.  |
| <b>Arranques y paradas</b>                                     | Menos suaves que un hidráulico.   | Dispone de dos velocidades, nominal y nivelación, presentando arranques y paradas muy suaves.  |
| <b>Precisión de la nivelación de la cabina con las paredes</b> | Con variador de frecuencia es mejor que el hidráulico, pero peor en el resto de casos.  | Es exacta, ya que nivela independientemente de las condiciones de carga de la cabina.  |
| <b>Aceite</b>  | No emplean aceite.  | Dependencia respecto a la temperatura del aceite.  |
| <b>Mantenimiento</b>   | Gran número de elementos sometidos a un mayor desgaste debido al rozamiento. Cables de tracción.  | Desgaste bajo de los componentes al funcionar en baño de aceite.   |
| <b>Coste mantenimiento</b>                                     | Más económico.  | Coste elevado.   |
| <b>Ruido</b>   | Maquinaria más ruidosa.   | Más silenciosa.  |

| Sistemas de seguridad               | Necesitan de sistemas paracaídas.            | No precisan de paracaídas, no existe riesgo de caída descontrolada.                                    |
|-------------------------------------|--|--|
| En caso de avería o fallo eléctrico | Bajada de la cabina por reductora del motor. | La cabina desciende por gravedad mediante una válvula que regula la salida de aceite. Mayor seguridad. |

### 2.2.3 Otros ascensores

Existen otros sistemas de elevación que están basados en los mismos principios de funcionamiento que los ascensores eléctricos e hidráulicos pero destinados a otras funciones, entre éstos se encuentran los montacargas, cuya cabina no ha sido diseñada específicamente para el transporte de personas; los montacamas, utilizados en centros sanitarios para el transporte de personas, camillas y camas; los montacoches, los cuales transportan vehículos con conductor y pasajeros, teniendo su aplicación en garajes donde no es posible la construcción de rampas para su acceso; y los montaplatos, destinados a hoteles y restaurantes para facilitar la tarea de recogida y servicio de la vajilla en un comedor.

## 2.3 Elementos de un ascensor eléctrico

En este apartado, se va a proceder a la descripción de los principales componentes que configuran un ascensor eléctrico, agrupándolos por su ubicación en, cuarto de máquinas, hueco y foso, tal y como se muestra en la Figura 2.3.

### 2.3.1 Cuarto de máquinas

El cuarto de máquinas, situado en la parte superior del hueco o en el interior del mismo, está formado por la máquina de tracción (motor, freno, reductor, polea de tracción y polea de desvío) y por el limitador de velocidad [2]:

- **Motor:** es el componente encargado de suministrar la potencia necesaria para llevar a cabo los movimientos de subida y bajada de la cabina. Existen motores de corriente continua y de alterna, pero son estos últimos los más empleados. Además, su elección debe hacerse teniendo en cuenta los requerimientos de velocidad y servicio prestado de la instalación.

Para que los movimientos de arranque y parada se puedan realizar de forma suave, precisa y con el mayor confort es necesario que el motor pueda trabajar a distintas velocidades, es por ello por lo que existen motores de corriente alterna de una velocidad, de dos velocidades y con convertidor de frecuencia, tal y como se ha detallado en el apartado 2.2.2.

- **Freno:** tiene como misión la de parar el ascensor de forma segura y bloquearlo después de la parada. Existen dos tipos de freno, el mecánico y el eléctrico. El freno mecánico o electromecánico está formado por un tambor montado sobre el eje del tornillo sinfín del reductor, el cual tiene como salida el eje de la polea de tracción. Sobre el tambor actúan dos zapatas empujadas por resortes, produciéndose la fricción, las cuales se separan de éste sólo en el momento en el que el electroimán que actúa sobre ellas se pone en tensión. De esta manera, si tiene lugar algún fallo eléctrico se produce la parada inmediata del ascensor.

El freno eléctrico o electromagnético forma un solo bloque con el motor y está compuesto por un programador con los valores de frenado y por una dinamo tacométrica colocada en el eje del grupo tractor, suministrando una tensión proporcional a la velocidad de éste, la cual es comparada y amplificada llegando a unos tiristores. Siendo éstos los que producen la corriente continua que actúa sobre el freno, produciendo la parada del ascensor de manera suave y precisa.

- **Reductor:** se encuentra situado entre el freno y la polea de tracción. Está compuesto por un tornillo sinfín de acero aleado que engrana con una corona de bronce aleado, quedando ambos encerrados por una carcasa. Su función es la de transformar la alta velocidad de salida del motor eléctrico en un par que permita el movimiento del ascensor. Existen ascensores sin reductor (*gearless*), aunque su utilización es para velocidades mayores a 2 m/s.
- **Polea de tracción:** debe ser capaz de transmitir la tracción a los cables por adherencia y de soportar los esfuerzos que le transmiten éstos. Es por ello por lo que se emplea la fundición de hierro gris para su fabricación.

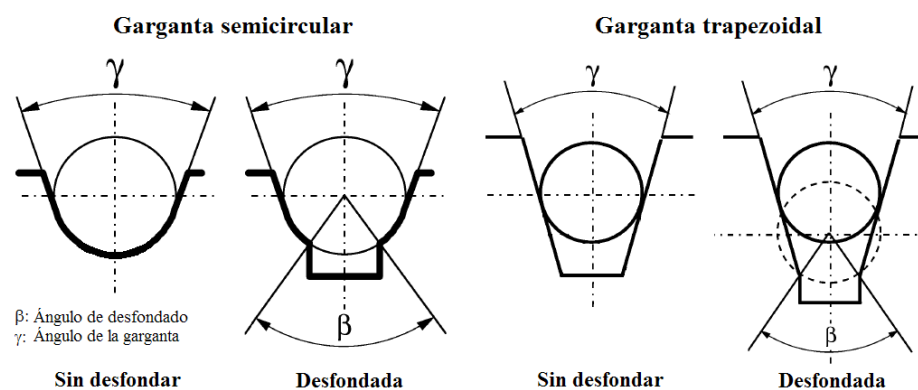


Figura 2.6 Perfiles de gargantas de poleas de tracción [6].

Las poleas de tracción se clasifican según el perfil de su garganta (Figura 2.6) en semicirculares y trapezoidales. Con las primeras, se obtiene una mayor duración de cable y garganta, aunque una menor adherencia, mientras que con las segundas, la adherencia es mejor a costa de un mayor desgaste de cable y

garganta. La forma de mejorar las características de ambas poleas es mediante un desfondado que evita el desgaste y la deformación del fondo de la garganta.

- **Polea de desvío:** tiene su utilidad en los casos en los que la distancia entre el amarre de los cables en la cabina y el amarre en el contrapeso es mayor al diámetro de la polea tractora, ya que de esta manera los cables de suspensión de la cabina y el contrapeso se pueden colocar a la distancia requerida, consiguiendo ángulos de abrazamiento de los cables con la polea mayores y evitando el deslizamiento de éstos.
- **Limitador de velocidad:** es el aparato encargado de detectar cuando el ascensor sobrepasa su velocidad nominal y de iniciar la operación de frenado de emergencia en caso de que la velocidad alcance un valor prefijado. Está compuesto por dos poleas acanaladas, normalmente una situada en la parte superior del hueco del ascensor y la otra en el foso actuando de tensora, a través de las cuales se mueve un cable de acero que se encuentra unido por uno de sus ramales al paracaídas de la cabina.

Este sistema actúa cuando tiene lugar la rotura de los cables de suspensión o cualquier otra circunstancia que hace que la cabina se acelere sobrepasando su velocidad nominal y llegando a una prefijada, produciéndose el bloqueo de la polea del limitador y de su cable lo que provoca un tirón en la palanca a la que va fija, que a su vez acciona el mecanismo del paracaídas produciéndose la detención de la cabina sobre sus guías.

Existen dos tipos de poleas de limitador en función del sistema de bloqueo empleado sobre la polea (Figura 2.7), por un lado, el limitador de velocidad oscilante compuesto por un gatillo oscilante que se enclava en una rueda cuadrada cuando la polea se acelera, bloqueándola, y por el otro, el limitador de velocidad centrífugo en donde la fuerza centrífuga desplaza unos contrapesos que se engatillan en unos resaltes presentes en la polea, produciéndose su bloqueo. Este último es el sistema más silencioso.

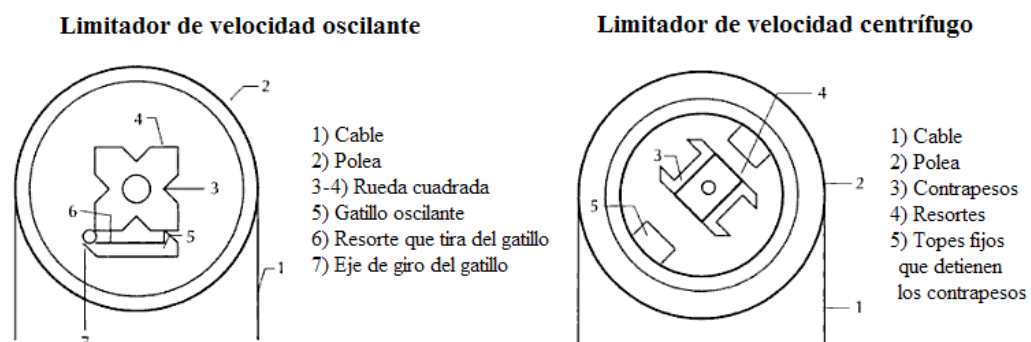


Figura 2.7 Poleas de limitador de velocidad [2].

### 2.3.2 Hueco

El hueco es el espacio destinado exclusivamente al desplazamiento del ascensor y del contrapeso. Sus paredes deben tener la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos que le transmiten las guías que se encuentran sujetas a éstas. Y en él se encuentran la cabina, el contrapeso, las guías, los cables, el paracaídas y las puertas [2]:

- **Cabina:** es el elemento sobre el que se sitúan los pasajeros y/o cargas para desplazarse verticalmente a través del hueco del ascensor. Está constituida por un bastidor y por una caja. El bastidor, fabricado en acero, es sobre el que se fijan los cables de suspensión y el mecanismo del paracaídas. Sobre el bastidor va sujeta la caja que es el componente que realmente acoge a los pasajeros, encontrándose totalmente cerrada por paredes, suelo y techo, salvo la puerta de acceso.
- **Contrapeso:** está formado por bloques de hormigón o de fundición que se encuentran unidos por un bastidor. Tiene como misión equilibrar el peso de la cabina y de una parte de la carga nominal, que suele ser del 50%, consiguiéndose de esta manera que la potencia del motor necesaria para elevar la cabina sea menor, al haberse reducido el peso que tiene que arrastrar el motor. Esto sólo es válido para los casos en los que la altura del edificio no es muy elevada, en donde se desprecia el peso del cable y no se utiliza cable de compensación.
- **Guías:** son elementos rígidos y calibrados que se encargan de la conducción de la cabina y del contrapeso durante los movimientos de subida y bajada, además de servir de soporte donde actuar los sistemas paracaídas. Están sometidas a dos clases de esfuerzos, por un lado los debidos a las excentricidades de la carga, y por el otro, los de frenado que aparecen como consecuencia de la actuación del paracaídas. El perfil de guía más utilizado es en forma de T, aunque también existen guías con un perfil en V invertida.

Para que la cabina y el contrapeso puedan deslizarse sobre las guías deben tener instalados en su parte superior e inferior unos apoyos, de los que existen dos tipos (Figura 2.8). Los apoyos deslizantes se utilizan en ascensores que no superan los 2 m/s de velocidad. Están fabricados en acero, pero la superficie que está en contacto con las guías es de neopreno o nylon, ya que éstos presentan un bajo coeficiente de rozamiento. A su vez, las guías deben ser lubricadas para disminuir las fuerzas de rozamiento entre éstas y los apoyos.

Por otro lado, los apoyos mediante rodillos están compuestos por tres rodillos de caucho o poliuretano, los cuales no necesitan lubricación, que continuamente están en contacto con las guías, obteniéndose unos niveles de ruido mínimos y



una mayor eficiencia de la rodadura. Es por ello por lo que estos apoyos se emplean en ascensores de alta velocidad pero también en los de baja.

Apoyos deslizantes



Apoyos mediante rodillos



Figura 2.8 Tipos de apoyos sobre las guías [7] y [8].

- **Cables:** están constituidos por alambres de acero trefilado trenzados sobre un alma o sin ella formando cordones, y éstos a su vez se enrollan entorno a un alma que puede ser textil o metálica (Figura 2.9), consiguiendo un conjunto que es capaz de soportar esfuerzos de tracción. Se utilizan en ascensores como cables de tracción, cables de compensación y cables de limitador de velocidad.

La configuración transversal de los cables empleados en ascensores presenta múltiples cordones de distinto diámetro, con la intención de que sean lo más redondos posible y con buena superficie de apoyo, encontrándose los tipos *Seale*, *Warrington*, *Filler Wire* y *Warrington-Seale* (Figura 2.9).

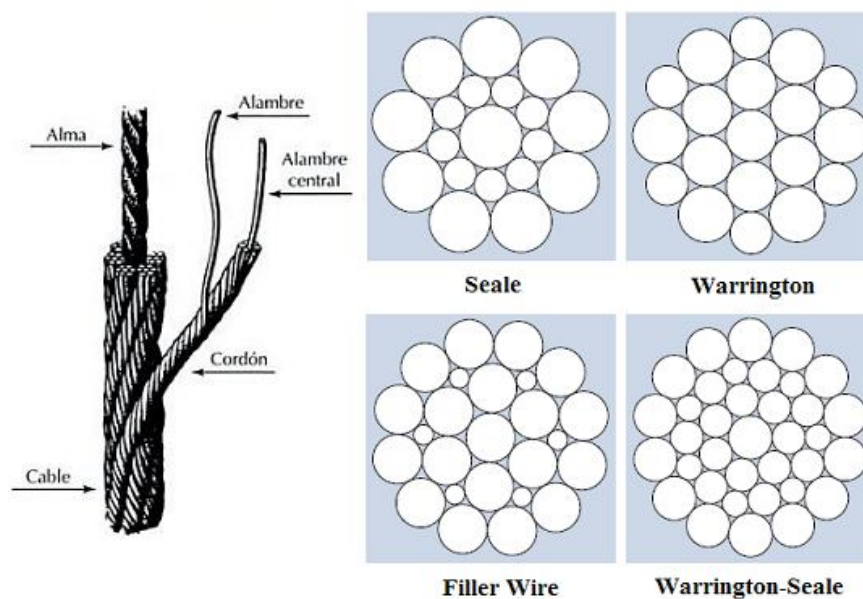


Figura 2.9 Constitución de un cable y sus distintas configuraciones [2] y [9].



La configuración *Seale* es la más utilizada debido a que sus alambres exteriores son de gran diámetro, por lo que ofrecen una gran resistencia a la abrasión. La *Warrington* se emplea en los casos en los que se considera que la fatiga es más importante que la abrasión, ya que presenta un mayor número de alambres de menor diámetro, aunque tiene tendencia a distorsionarse en su capa más exterior.

La *Warrington-Seale* es muy utilizada en cables de compensación en los que los requerimientos de esfuerzos son muy bajos, ya que su sección es muy vulnerable ante enclavamientos en la garganta de la polea y ante la falta de lubricación. Por último, la configuración *Filler Wire* para cables de tracción es poco utilizada debido a que presenta los mismos problemas que la *Warrington-Seale*.

- **Paracaídas:** es un mecanismo formado básicamente por una carcasa que se fija al bastidor de la cabina y unas zapatas accionadas mediante un sistema de palancas, llamado timonería, que a su vez es actuado por el cable del limitador de velocidad cuando se produce el bloqueo de su polea, permitiendo la detención de la cabina por contacto o acúñamiento sobre sus guías.

Se distinguen dos tipos de paracaídas, los de acción instantánea y los de acción progresiva. En los de acción instantánea (Figura 2.10) la parada de la cabina se produce de manera casi inmediata. A medida que desciende la cabina las zapatas se van encajando entre su carcasa y la guía hasta detenerla. Las zapatas instaladas pueden ser de tipo cuña cuya superficie de contacto es estriada o dentada para aumentar el agarre, utilizadas en ascensores con velocidades no mayores a 0,63 m/s, o de tipo rodillo (paracaídas instantáneos con efecto amortiguado) con la superficie moleteada y para velocidades de hasta 1 m/s.

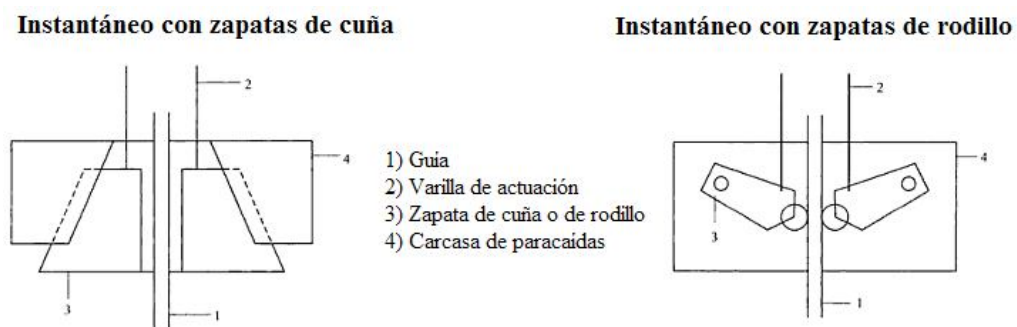


Figura 2.10 Paracaídas de acción instantánea [2].

Mientras que en los de acción progresiva (Figura 2.11) el frenado de la cabina se realiza aplicando una fuerza de magnitud controlada sobre las guías a través de las zapatas. Estos paracaídas se utilizan en ascensores cuya velocidad es superior a 1 m/s. De entre los diversos tipos existentes se encuentran los de husillo y los de resorte. En los de husillo el esfuerzo de frenado se consigue mediante el desplazamiento axial de un husillo solidario a las zapatas que van presionando

las guías. Mientras que en los de resorte, lo que permite controlar la fuerza que ejerzan las zapatas sobre las guías, es la compresión de un resorte.

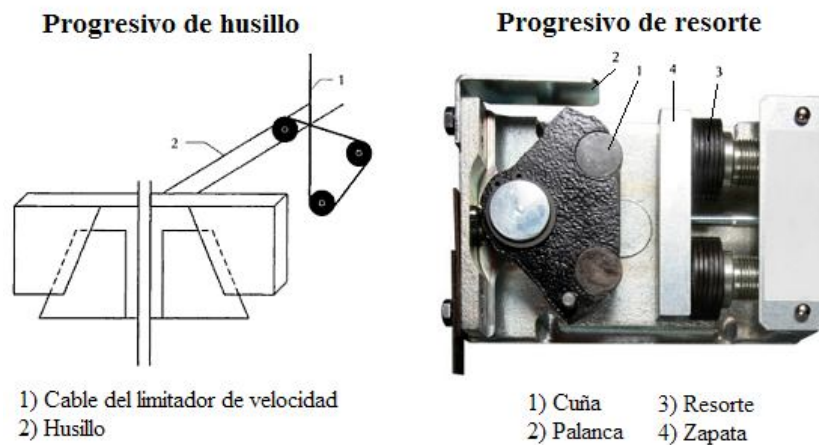


Figura 2.11 Paracaídas de acción progresiva [2] y [10].

- **Puertas de embarque:** tienen como función evitar que los pasajeros puedan acceder al hueco del ascensor cuando éste todavía no ha llegado a su destino, y en caso contrario, permitírselo. Se deben instalar puertas dobles, es decir, una para el ascensor y otra para el rellano, y sus accesos deben estar iluminados de forma natural o artificial.

### 2.3.3 Foso

Se encuentra situado en la parte inferior del hueco, justo debajo del nivel de la última parada, y en él se sitúan los amortiguadores. Su espacio debe ser tal que permita a una persona alojarse a salvo en él cuando la cabina se encuentre sobre los amortiguadores comprimidos [2]:

- **Amortiguadores:** tienen como misión detener la cabina o el contrapeso con la menor deceleración posible y sin riesgo alguno para sus ocupantes, minimizando también los posibles daños materiales en la máquina, cuando se produce el fallo del resto de medidas de seguridad que tiene el ascensor. Se encuentran dispuestos al final del recorrido de la cabina y del contrapeso, aunque también pueden situarse en la parte inferior de sus respectivos bastidores.

Los amortiguadores se pueden clasificar en tres tipos, elásticos, de resorte e hidráulicos (Figura 2.12). Los amortiguadores elásticos están formados por un cilindro de caucho y se emplean en ascensores cuya velocidad no supera los 0,6 m/s. Los de resorte o de acumulación de energía son los más utilizados, están constituidos por un resorte helicoidal de espiras de sección circular o cuadrada, y se utilizan para velocidades menores a 1 m/s. Dentro de este tipo también se

encuentran los de acumulación de energía con amortiguación del movimiento de retorno, que permiten alcanzar velocidades de hasta 1,6 m/s.

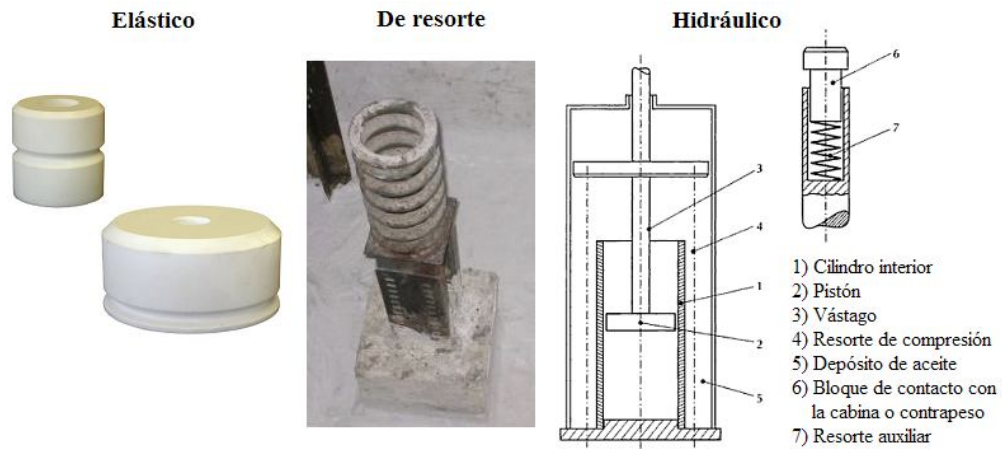


Figura 2.12 Tipos de amortiguadores [2].

Por último, los hidráulicos o de disipación de energía están formados por un émbolo que al entrar en contacto con la cabina o el contrapeso desciende y empuja el aceite contenido en un cilindro hacia el exterior, a través de los orificios de distinta sección que presenta éste, lo que determina la velocidad de descenso. Con ayuda de un muelle que se ha comprimido en el descenso se retorna el amortiguador a su posición inicial cuando deja de haber carga presionándolo. Estos amortiguadores pueden ser empleados en ascensores de cualquier velocidad.

## Capítulo 3

# Diseño de un ascensor eléctrico

---

### 3.1 Disposiciones previas a los cálculos

De entre los diferentes elementos de los que consta un ascensor eléctrico este proyecto se centra en el diseño y cálculo de tres de ellos: las guías de deslizamiento, los cables de suspensión y la polea de tracción. La elección de estos tres elementos, para realizar su cálculo en primer lugar frente a otros, se debe a que sus funciones son básicas para que un ascensor eléctrico pueda desarrollar de forma correcta la actividad para la cual ha sido creado.

En el caso de las guías de deslizamiento su importancia radica en el hecho de que su no utilización supone que la cabina sufra movimientos incontrolados como consecuencia de una distribución desigual de la masa de la cabina, de la carga nominal o del punto de suspensión de la cabina, llegando esta a impactar contra las paredes del hueco del ascensor. Además, las guías sirven de soporte sobre el que actúan los sistemas de paracaídas, deteniendo el descenso de la cabina sobre sus guías en caso de que se haya sobrepasado el valor del limitador de velocidad o se haya producido la rotura de los órganos de suspensión.

La importancia de los cables de suspensión está en que son los únicos elementos que sostienen a la cabina y al contrapeso, produciéndose la caída de estos en caso de rotura de los cables.

Por último, la polea de tracción tiene su importancia como medio a través del cual poder aplicar el par de la máquina tractora a los cables de suspensión y producir el movimiento ascendente y descendente de la cabina y del contrapeso.

El presente proyecto no tiene por finalidad la realización de los cálculos de un ascensor en concreto, sino que es el usuario de la aplicación DISAE 1.0 el que decide la configuración del mismo. Por tanto, para llevar a cabo el desarrollo y explicación de los diferentes cálculos, y la posterior comprobación de los resultados con los obtenidos mediante la aplicación DISAE 1.0, es necesario suponer una determinada configuración de ascensor.

Para ello, se va a emplear los datos que han podido ser obtenidos de un ascensor real con capacidad para 6 personas y 450 kg de la marca OTIS, cuyas características están recogidas en la Tabla 3.1, y que sirven como referencia de las dimensiones reales que suelen tener estos ascensores.

*Tabla 3.1 Dimensiones de un ascensor OTIS con capacidad para 6 personas y 450 kg [11] y [12].*

| Características cabina                  |         |
|---|---------|
| <b>Masa</b>                             | 705 kg  |
| <b>Capacidad</b>                        | 450 kg  |
| <b>Ancho</b>                            | 1000 mm |
| <b>Profundidad</b>                      | 1250 mm |
| <b>Velocidad</b>                        | 1 m/s   |
| <b>Distancia entre zunchos o vigas</b>  | 3000 mm |
| <b>Distancia entre apoyos de cabina</b> | 2725 mm |
| <b>Número de guías</b>                  | 2       |
| Características contrapeso              |         |
| <b>Ancho</b>                            | 94 mm   |
| <b>Largo</b>                            | 864 mm  |
| <b>Número de guías</b>                  | 2       |

Además, durante el desarrollo de los cálculos y ante la falta de datos de algunas de las variables requeridas en ellos, ya sea porque no se han podido obtener de las hojas de características del fabricante de un elemento o porque es el usuario de la aplicación DISAE 1.0 el que debiera introducirlos, es necesario suponer sus valores para poder llevar a cabo los cálculos. Estos valores se indican convenientemente en el momento de realizar las operaciones.

También es importante indicar que los cálculos realizados se centran únicamente en el desarrollo de las operaciones finales para la selección de los elementos del

ascensor, no mostrándose el proceso iterativo que tiene lugar cuando se selecciona un elemento con unas determinadas características y este no cumple con la normativa.

### 3.2 Normativa

La normativa aplicada para realizar el diseño de un ascensor eléctrico es la que se encuentra en vigencia en el momento de la realización del presente proyecto, siendo esta la Norma Europea EN 81-1:1998+A3:2009, la cual tiene su versión oficial en español en la Norma UNE-EN 81-1:2001+A3 de junio de 2010, con el título de *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Parte 1: Ascensores eléctricos* [6].

Esta norma especifica las reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores eléctricos, a tracción por adherencia o tambor de arrollamiento, instalados permanentemente, de nueva instalación y que sirvan niveles definidos, con una cabina destinada para el transporte de personas o de personas y carga, suspendida por cables o cadenas y desplazándose entre guías, con inclinación no mayor de 15° sobre la vertical.

### 3.3 Cálculos para el diseño de las guías de deslizamiento

En este apartado, se indica paso por paso los cálculos necesarios y las consideraciones que se han tomado para el diseño de las guías de deslizamiento de un ascensor eléctrico, tanto de la cabina como del contrapeso.

#### 3.3.1 Guías de la cabina

Las guías seleccionadas para este proyecto presentan un perfil en forma de T y corresponden al modelo estándar (Ride Super) del fabricante Saveria [13], que abarca velocidades de entre 0 y 1 m/s para guías calibradas (*cold drawn*) y de entre 0 y 1,6 m/s para cepilladas (*machined*). De estas dos se ha decidido tomar las guías cepilladas, ya que aunque la velocidad nominal de la cabina es para este caso de 1 m/s (Tabla 3.1) se quiere permitir que en la aplicación DISAE 1.0 se puedan seleccionar velocidades de hasta 1,6 m/s.

Antes de comenzar con el cálculo de los esfuerzos y de las flechas sobre las guías es necesario determinar los esfuerzos y las flechas admisibles que en ningún caso deben sobrepasar las guías seleccionadas. Para ello, la Norma EN 81-1 indica dos formas de llevar a cabo su cálculo, y en este caso se ha optado por la segunda de ellas, ya que las guías Saveria cumplen la Norma ISO 7465.

El método consiste en obtener los esfuerzos admisibles ( $\sigma_{perm}$ ) para dos casos de carga mediante la interpolación lineal en la Tabla 3.2 del valor de la resistencia a la tracción ( $R_m$ ) que presentan las guías, el cual se encuentra en las hojas de características

de éstas (Anexo A), y está comprendido entre 410 y 520 N/mm<sup>2</sup>, por lo que se toma el valor más restrictivo, 410 N/mm<sup>2</sup>.

Tabla 3.2 Esfuerzos admisibles ( $\sigma_{perm}$ ) en N/mm<sup>2</sup> en función de la resistencia a la tracción ( $R_m$ ) de las guías en N/mm<sup>2</sup> [6].

| Casos de carga                | $R_m$ |     |     |
|-------------------------------|-------|-----|-----|
|                               | 370   | 440 | 520 |
| Carga en uso normal           | 165   | 195 | 230 |
| Funcionamiento del paracaídas | 205   | 244 | 290 |

La interpolación para el caso de carga en uso normal queda determinada por la ecuación:

$$\sigma_{perm} = \left[ \frac{195-165}{440-370} \cdot (R_m - 370) \right] + 165 \quad (3.1)$$

Sustituyendo  $R_m$  en la ecuación (3.1) por 410 N/mm<sup>2</sup> se obtiene el valor del esfuerzo admisible:

$$\sigma_{perm} = 182,14 \text{ N/mm}^2$$

Para el caso de funcionamiento del paracaídas, la interpolación queda reflejada en la ecuación:

$$\sigma_{perm} = \left[ \frac{244-205}{440-370} \cdot (R_m - 370) \right] + 205 \quad (3.2)$$

Sustituyendo  $R_m$  en la ecuación (3.2) por 410 N/mm<sup>2</sup> resulta:

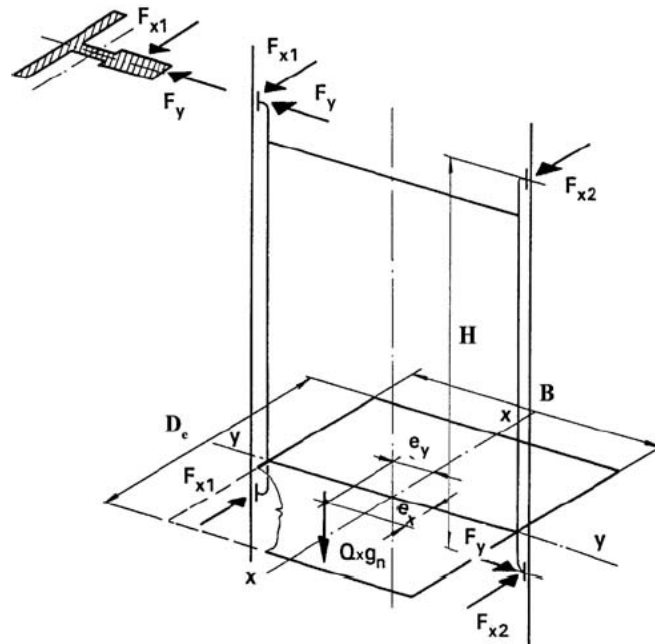
$$\sigma_{perm} = 227,29 \text{ N/mm}^2$$

En cuanto a las flechas admisibles ( $\delta_{perm}$ ), la Norma EN 81-1 precisa que para guías de perfil en T las deflexiones máximas calculadas no deben superar los 5 mm en ambas direcciones cuando sobre las guías actúan paracaídas, en caso contrario, las deflexiones permitidas en ambas direcciones son de 10 mm.

Los valores de esfuerzos y flechas admisibles indicados anteriormente son igualmente válidos para guías de cabina y de contrapeso, ya que en ambos casos se emplea el mismo tipo de guías (guías cepilladas).

Para llevar a cabo el cálculo de los esfuerzos y de las flechas que aparecen sobre las guías debido a las fuerzas que actúan sobre ellas como consecuencia de una distribución desigual de la carga nominal en la cabina, tal y como se aprecia en la

Figura 3.1, o por la actuación del sistema de frenado de emergencia, se ha decidido tomar una configuración general, de entre todas las dispuestas en la Norma EN 81-1, como situación de las guías en el hueco del ascensor respecto de la cabina. Esta configuración aparece representada en la Figura 3.2, y sus cotas se explican durante el desarrollo de las operaciones.



*Figura 3.1 Fuerzas en las guías debido a una distribución de carga desigual [14].*

Seguendo la Norma EN 81-1 se indica que el cálculo de las guías debe realizarse para tres situaciones distintas de funcionamiento de la cabina, como son: la actuación de un componente de seguridad, el uso normal de subida y bajada y la acción de carga y descarga. En todas ellas deben evaluarse los esfuerzos de flexión, de pandeo, combinados, la torsión de la base y las flechas.

Durante la explicación de los términos que forman parte de las ecuaciones empleadas en los cálculos se indican entre paréntesis los valores que toman las diferentes variables, de entre los cuales, los que aparecen con un asterisco al lado han sido supuestos, tal y como se explica en el apartado 3.1.



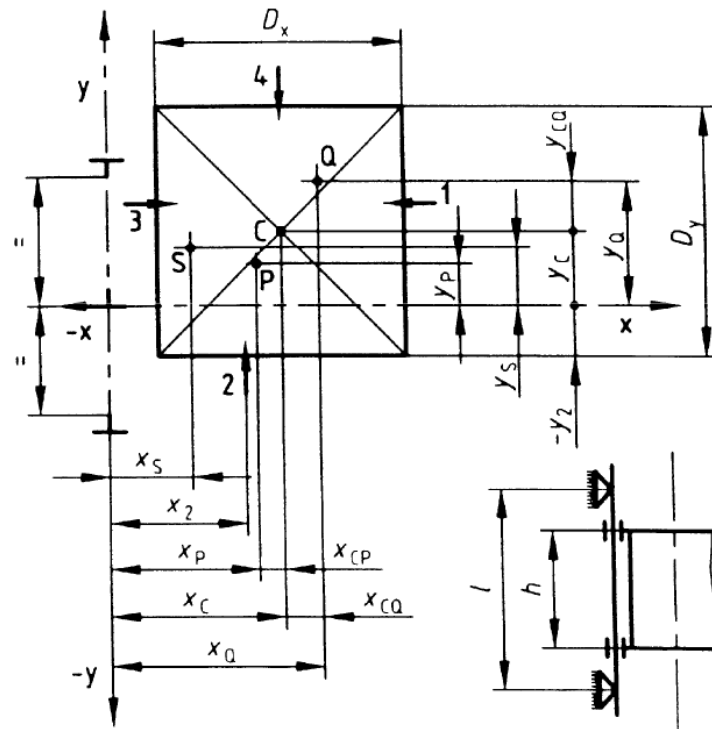


Figura 3.2 Esquema acotado de una configuración general [6].

### Funcionamiento de un componente de seguridad

Para la situación de funcionamiento de un componente de seguridad, la Norma EN 81-1 establece que la carga nominal ( $Q$ ) debe estar uniformemente distribuida dentro de las tres cuartas partes del área de la cabina, lo que supone dos casos distintos de distribución de carga, uno respecto al eje  $X$ , Caso 1 (Figura 3.3), y el otro respecto al eje  $Y$ , Caso 2 (Figura 3.4).

#### Caso 1. Distribución de carga respecto al eje $X$

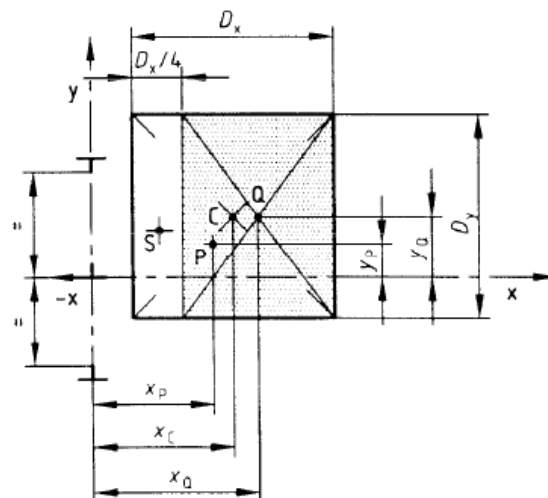


Figura 3.3 Distribución de carga respecto al eje  $X$  para una configuración general [6].

La distancia de la carga nominal (Q) en relación con las coordenadas cruzadas de las guías viene determinada por las ecuaciones:

$$x_Q = x_C + \frac{D_x}{8} \quad (3.3)$$

$$y_Q = y_C \quad (3.4)$$

donde:

- $x_C$  es la posición del centro de la cabina (C) respecto al eje Y (0,635 m<sup>(\*)</sup>);
- $D_x$  es la profundidad de la cabina según el eje X (1,25 m);
- $y_C$  es la posición del centro de la cabina (C) respecto al eje X (0,40 m<sup>(\*)</sup>).

Sustituyendo los valores en (3.3) y (3.4) se obtiene:

$$x_Q = 0,635 + \frac{1,25}{8} = 0,79 \text{ m}$$

$$y_Q = 0,40 \text{ m}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje Y*

La fuerza aplicada a las guías por las guideras de la cabina, según el eje X, debido a la excentricidad de las cargas Q y P, queda determinada por la fórmula:

$$F_x = \frac{k_1 \cdot g_n \cdot (Q \cdot x_Q + P \cdot x_P)}{n \cdot h} \quad (3.5)$$

donde:

- $k_1$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3;
- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>);
- Q es la carga nominal (450 kg);
- $x_Q$  es la distancia de la carga nominal respecto al eje Y (0,79 m);
- P es la masa de la cabina vacía (705 kg);
- $x_P$  es la posición de la masa de la cabina respecto al eje Y (0,45 m<sup>(\*)</sup>);
- n es el número de guías (2);
- h es la distancia entre guidoras de cabina (2,725 m).

El factor de impacto  $k_1$  hace referencia al tipo de paracaídas instalado en la cabina. Debido a que la velocidad nominal del ascensor es de 1 m/s, y teniendo en cuenta la Norma EN 81-1, para esta velocidad se pueden instalar paracaídas de tipo instantáneo con efecto amortiguado o paracaídas de tipo progresivo, seleccionándose en este caso el primero de ellos, cuyo factor de impacto es de 3 (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Factores de impacto [6].

| Impacto por   | Factor de impacto | Valor               |
|---|-------------------|---------------------|
| Actuación de paracaídas instantáneo o dispositivo de bloqueo, excepto de tipo de rodillo.   | $k_1$             | 5                   |
| Actuación de paracaídas instantáneo de tipo de rodillo, o dispositivo de bloqueo de tipo de rodillo, o dispositivo de retén con amortiguador de tipo de acumulación de energía, o amortiguador de acumulación de energía. |                   | 3                   |
| Actuación de paracaídas progresivo, o dispositivo de bloqueo progresivo, o dispositivo de retén con amortiguador de tipo de disipación de energía, o amortiguador de tipo de disipación de energía.                       |                   | 2                   |
| Válvula paracaídas  |                   | 2                   |
| Funcionando   | $k_2$             | 1,2                 |
| Partes auxiliares   | $k_3$             | (...) <sup>1)</sup> |
| 1) El valor tiene que determinarse por el fabricante, puesto que depende de cada instalación real.  |                   |                     |

La variable P, según la Norma EN 81-1, representa a las masas de la cabina vacía y de los componentes que le cuelgan, cuando proceda, es decir, parte del cordón de maniobra, cables o cadenas de compensación, etc. Para este proyecto se va a considerar que no son necesarios los cables de compensación, ya que se va a suponer que la altura del recorrido que realiza la cabina de los ascensores diseñados mediante la aplicación DISAE 1.0 es menor a 25 m, que es la distancia a partir de la cual se recomienda el uso de estos cables, los cuales se emplean para compensar el peso de los cables de tracción.

Además, cabe indicar, que debido a que la distancia del recorrido de la cabina se supone no muy elevada, se va a considerar despreciable el peso de los cables de suspensión en el desarrollo de los cálculos de las guías.

Introduciendo los datos en la fórmula (3.5) se obtiene:

$$F_x = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot (450 \cdot 0,79 + 705 \cdot 0,45)}{2 \cdot 2,725} = 3632,85 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje Y, debido a la fuerza aplicada sobre las guías viene mostrado por la expresión:

$$M_y = \frac{3 \cdot F_x \cdot l}{16} \quad (3.6)$$

donde:

- $F_x$  es la fuerza aplicada a las guías por las guíaderas según el eje X (3632,85 N);
- $l$  es la distancia máxima entre fijaciones de guías (3 m).

Sustituyendo los valores en (3.6) resulta:

$$M_y = \frac{3 \cdot 3632,85 \cdot 3}{16} = 2043,48 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje Y queda reflejado por la ecuación:

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} \quad (3.7)$$

donde:

$M_y$  es el momento flector respecto al eje Y (2043,48 Nm);

$W_y$  es el módulo resistente de la superficie de la sección transversal (en  $\text{m}^3$ ), según el Anexo A.

La guía seleccionada, de entre las cuatro que se ofrecen en la aplicación DISAE 1.0 (T75/B, T90/B, T114/B y T127-1/B), es una T127-1/B cuyas características técnicas se encuentran en el Anexo A, y del que se ha obtenido que  $W_y$  es igual a  $23,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ . La elección de esta guía se debe a que es la única de las cuatro que no supera los esfuerzos y las flechas admisibles.

Introduciendo los datos en (3.7) se tiene:

$$\sigma_y = \frac{2043,48}{23,61 \cdot 10^{-6}} = 86,55 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje X*

La fuerza aplicada a las guías por las guideras de la cabina, según el eje Y, debido a la excentricidad de las cargas Q y P, queda determinada por la fórmula:

$$F_y = \frac{k_1 \cdot g_n \cdot (Q \cdot y_Q + P \cdot y_P)}{\frac{n}{2} \cdot h} \quad (3.8)$$

donde:

$k_1$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (3);

$g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );

Q es la carga nominal (450 kg);

$y_Q$  es la distancia de la carga nominal respecto al eje X (0,40 m);

P es la masa de la cabina vacía (705 kg);

$y_P$  es la posición de la masa de la cabina respecto al eje X ( $0,25 \text{ m}^{(*)}$ );

- n es el número de guías (2);  
h es la distancia entre guiadoras de cabina (2,725 m).

Introduciendo los datos en la fórmula (3.8) se obtiene:

$$F_y = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot (450 \cdot 0,40 + 705 \cdot 0,25)}{\frac{2}{2} \cdot 2,725} = 3847,50 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje X, debido a la fuerza aplicada sobre las guías viene mostrado por la expresión:

$$M_x = \frac{3 \cdot F_y \cdot l}{16} \quad (3.9)$$

donde:

- $F_y$  es la fuerza aplicada a las guías por las guiaderas según el eje Y (3847,50 N);  
l es la distancia máxima entre fijaciones de guías (3 m).

Sustituyendo los valores en (3.9) resulta:

$$M_x = \frac{3 \cdot 3847,50 \cdot 3}{16} = 2164,22 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje X queda reflejado por la ecuación:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} \quad (3.10)$$

donde:

- $M_x$  es el momento flector respecto al eje X (2164,22 Nm);  
 $W_x$  es el módulo resistente de la superficie de la sección transversal, según el Anexo A ( $30,65 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ).

Introduciendo los datos en (3.10) se tiene:

$$\sigma_x = \frac{2164,22}{30,65 \cdot 10^{-6}} = 70,61 \text{ MPa}$$

### Evaluación del esfuerzo de pandeo

La fuerza de pandeo a la que están sometidas las guías debido a la fuerza de frenado que se produce como consecuencia de la actuación del paracaídas, se expresa según la fórmula:

$$F_k = \frac{k_1 \cdot g_n \cdot (P+Q)}{n} \quad (3.11)$$

donde:

- $k_1$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (3);
- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>);
- $P$  es la masa de la cabina vacía (705 kg);
- $Q$  es la carga nominal (450 kg);
- $n$  es el número de guías (2).

Sustituyendo los valores en (3.11) se obtiene:

$$F_k = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot (705 + 450)}{2} = 16995,83 \text{ N}$$

Para determinar el esfuerzo de pandeo se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\sigma_k = \frac{(F_k + k_3 \cdot M) \cdot \omega}{A} \quad (3.12)$$

donde:

- $F_k$  es la fuerza de pandeo (16995,83 N);
- $k_3$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3;
- $M$  es la fuerza en la guía debida a equipos auxiliares (49,05 N<sup>(\*)</sup>);
- $\omega$  es el valor del factor de deformación omega;
- $A$  es el área de la sección transversal de guía, según el Anexo A (22,74·10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>).

El factor de impacto  $k_3$  (Tabla 3.3) hace referencia al equipo auxiliar fijado en las guías. Debido a que su valor viene determinado por el fabricante y dado que no existe forma de saberlo, ya que depende de cada instalación real, se va a suponer que el valor del factor de impacto es de 2,5. Este valor es el que se empleará para cualquier otra configuración de ascensor creada mediante la aplicación DISAE 1.0.

La obtención del valor de la variable  $\omega$  se realiza con ayuda de las expresiones:

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \quad (3.13)$$

$$l_k = l \quad (3.14)$$

donde:

- $\lambda$  es el coeficiente de esbeltez;
- $l_k$  es la longitud de pandeo (en m);
- $i$  es el radio de giro mínimo, según el Anexo A ( $2,361 \cdot 10^{-2}$  m);
- $l$  es la distancia máxima entre fijaciones de guía (3 m).

Y también, con la de los siguientes polinomios:

para acero de resistencia a la tracción  $R_m=370$  N/mm<sup>2</sup> [6]:

$$\begin{aligned} 20 \leq \lambda \leq 60 & \quad \omega = 0,00012920 \cdot \lambda^{1,89} + 1 \\ 60 < \lambda \leq 85 & \quad \omega = 0,00004627 \cdot \lambda^{2,14} + 1 \\ 85 < \lambda \leq 115 & \quad \omega = 0,00001711 \cdot \lambda^{2,35} + 1,04 \\ 115 < \lambda \leq 250 & \quad \omega = 0,00016887 \cdot \lambda^{2,00} \end{aligned} \quad (3.15)$$

para acero de resistencia a la tracción  $R_m=520$  N/mm<sup>2</sup> [6]:

$$\begin{aligned} 20 \leq \lambda \leq 50 & \quad \omega = 0,00008240 \cdot \lambda^{2,06} + 1,021 \\ 50 < \lambda \leq 70 & \quad \omega = 0,00001895 \cdot \lambda^{2,41} + 1,05 \\ 70 < \lambda \leq 89 & \quad \omega = 0,00002447 \cdot \lambda^{2,36} + 1,03 \\ 89 < \lambda \leq 250 & \quad \omega = 0,00025330 \cdot \lambda^{2,00} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Sustituyendo los valores en las expresiones (3.13) y (3.14) se tiene:

$$\lambda = \frac{3}{2,361 \cdot 10^{-2}} = 127,06$$

y tomando los polinomios correspondientes de (3.15) y (3.16) en función del valor obtenido de  $\lambda$ :

$$\omega_{370} = 0,00016887 \cdot 127,06^{2,00} = 2,73$$

$$\omega_{520} = 0,00025330 \cdot 127,06^{2,00} = 4,09$$

Como la resistencia a la tracción del acero es de 410 N/mm<sup>2</sup>, para obtener su valor omega es necesario realizar una interpolación lineal entre los valores de omega obtenidos mediante (3.15) y (3.16), quedando reflejada la interpolación por la ecuación:

$$\omega_{410} = \left[ \frac{\omega_{520} - \omega_{370}}{520 - 370} \cdot (R_m - 370) \right] + \omega_{370} \quad (3.17)$$

Sustituyendo los correspondientes datos en la ecuación (3.17) se obtiene el valor final de  $\omega$ :

$$\omega_{410} = \left[ \frac{4,09 - 2,73}{520 - 370} \cdot (410 - 370) \right] + 2,73 = 3,09$$

Por último, introduciendo en la ecuación (3.12) los datos obtenidos, el esfuerzo de pandeo resulta:

$$\sigma_k = \frac{(16995,83 + 2,5 \cdot 49,05) \cdot 3,09}{22,74 \cdot 10^{-4}} = 23,26 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación y comprobación de los esfuerzos combinados*

Los esfuerzos combinados, que son el resultado de la combinación de los esfuerzos de flexión y pandeo a los que están sometidas las guías, vienen determinados por las fórmulas (3.18), (3.19) y (3.20), y sus resultados no deben sobrepasar el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$\sigma_m = \sigma_x + \sigma_y \leq \sigma_{perm} \quad (3.18)$$

$$\sigma = \sigma_m + \frac{F_k + k_3 \cdot M}{A} \leq \sigma_{perm} \quad (3.19)$$

$$\sigma_c = \sigma_k + 0,9 \cdot \sigma_m \leq \sigma_{perm} \quad (3.20)$$

donde:

- $\sigma_m$  es el esfuerzo de flexión (en  $\text{N/m}^2$ );
- $\sigma_x$  es el esfuerzo de flexión en el eje X (70,61 MPa);
- $\sigma_y$  es el esfuerzo de flexión en el eje Y (86,55 MPa);
- $\sigma$  es el esfuerzo de flexión y compresión (en  $\text{N/m}^2$ );
- $F_k$  es la fuerza de pandeo (16995,83 N);
- $k_3$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (2.5);
- $M$  es la fuerza en la guía debida a equipos auxiliares (49,05 N<sup>(\*)</sup>);
- $A$  es el área de la sección transversal de guía, según el Anexo A ( $22,74 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ );
- $\sigma_c$  es el esfuerzo de flexión y pandeo (en  $\text{N/m}^2$ );
- $\sigma_k$  es el esfuerzo de pandeo (23,26 MPa);
- $\sigma_{perm}$  es el esfuerzo admisible, según la ecuación (3.2) (227,29 MPa).

Sustituyendo los distintos valores en las fórmulas (3.18), (3.19) y (3.20) se tiene:

$$\sigma_m = 70,61 \cdot 10^6 + 86,55 \cdot 10^6 = 157,16 \text{ MPa}$$



$$\sigma = 157,16 \cdot 10^6 + \frac{16995,83 + 2,5 \cdot 49,05}{22,74 \cdot 10^{-4}} = 164,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 23,26 \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 157,16 \cdot 10^6 = 164,70 \text{ MPa}$$

Comparando sus resultados con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$157,16 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

$$164,69 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

$$164,70 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

De esta forma, se comprueba que la guía es capaz de soportar todos y cada uno de los esfuerzos combinados.

#### *Evaluación y comprobación del esfuerzo de torsión de la base*

El esfuerzo de torsión aparece como consecuencia de la fuerza ejercida por los apoyos de la cabina sobre la base de las guías, y que para guías de perfil en T viene determinado por la ecuación:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot F_x}{c^2} \leq \sigma_{perm} \quad (3.21)$$

donde:

- $F_x$  es la fuerza ejercida por la rozadura sobre la base (3632,85 N);
- $c$  es la anchura de la parte de conexión de la base con la cabeza de la guía según el Anexo A ( $10 \cdot 10^{-3}$  m);
- $\sigma_{perm}$  es el esfuerzo admisible, según la ecuación (3.2) (227,29 MPa).

Introduciendo los valores en la ecuación (3.21) se obtiene:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot 3632,85}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 67,21 \text{ MPa}$$

Comparando su resultado con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$67,21 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

De esta manera, se comprueba que la base de la guía es capaz de aguantar el esfuerzo de torsión al que está sometida.

### Evaluación y comprobación de las flechas

Para el cálculo de las deflexiones que experimentan las guías como consecuencia de las fuerzas que se ejercen sobre ellas, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{F_x \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \leq \delta_{perm} \quad (3.22)$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{F_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \leq \delta_{perm} \quad (3.23)$$

donde:

- $\delta_x$  es la flecha en el eje X (en m);
- $F_x$  es la fuerza de apoyo ejercida en el eje X (3632,85 N);
- $l$  es la máxima distancia entre fijaciones de guía (3 m);
- $E$  es el módulo de elasticidad del acero (210 GPa<sup>(\*)</sup>, acero estructural);
- $I_y$  es el momento de inercia de la sección de guía en el eje Y, según el Anexo A (149,9·10<sup>-8</sup> m);
- $\delta_y$  es la flecha en el eje Y (en m);
- $F_y$  es la fuerza de apoyo ejercida en el eje Y (3847,50 N);
- $I_x$  es el momento de inercia de la sección de guía en el eje X, según el Anexo A (187,9·10<sup>-8</sup> m);
- $\delta_{perm}$  es la flecha admisible, según la Norma EN 81-1 (5 mm).

Sustituyendo los datos en las fórmulas (3.22) y (3.23) resulta:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{3632,85 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 149,9 \cdot 10^{-8}} = 4,54 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{3847,50 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 187,9 \cdot 10^{-8}} = 3,84 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

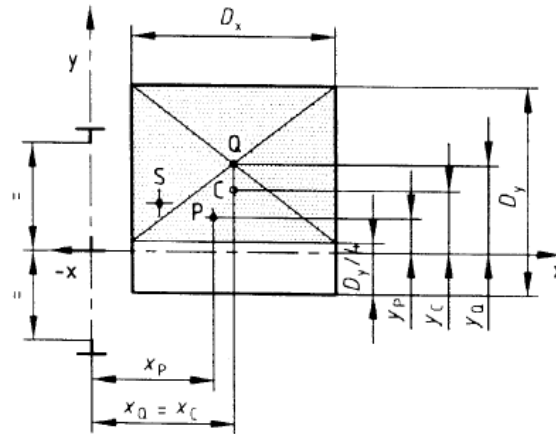
Comparando sus resultados con el valor de la flecha máxima admisible:

$$4,54 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

$$3,84 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Se comprueba que la deflexión que sufre la guía en ambas direcciones cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1 para la situación de funcionamiento de un componente de seguridad.

Caso 2. Distribución de carga respecto al eje Y



*Figura 3.4 Distribución de carga respecto al eje Y para una configuración general [6].*

La distancia de la carga nominal (Q) en relación con las coordenadas cruzadas de las guías viene determinada por las ecuaciones:

$$x_Q = x_C \quad (3.24)$$

$$y_Q = y_C + \frac{D_y}{8} \quad (3.25)$$

donde:

- $x_C$  es la posición del centro de la cabina (C) respecto al eje Y ( $0,635 \text{ m}^{(*)}$ );
- $y_C$  es la posición del centro de la cabina (C) respecto al eje X ( $0,40 \text{ m}^{(*)}$ );
- $D_y$  es la anchura de la cabina según el eje Y (1 m).

Sustituyendo los valores en (3.24) y (3.25) se obtiene:

$$x_Q = 0,635 \text{ m}$$

$$y_Q = 0,40 + \frac{1}{8} = 0,53 \text{ m}$$

*Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje Y*

La fuerza aplicada a las guías por las guideras de la cabina, según el eje X, debido a la excentricidad de las cargas Q y P, queda determinada por la fórmula (3.5), obteniéndose:

$$F_x = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot (450 \cdot 0,635 + 705 \cdot 0,45)}{2 \cdot 2,725} = 3256,20 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje Y, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.6) y tiene como resultado:

$$M_y = \frac{3 \cdot 3256,20 \cdot 3}{16} = 1831,61 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje Y se obtiene por medio de la ecuación (3.7), cuyo resultado es:

$$\sigma_y = \frac{1831,61}{23,61 \cdot 10^{-6}} = 77,58 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje X*

La fuerza aplicada a las guías por las guideras de la cabina, según el eje Y, debido a la excentricidad de las cargas Q y P, queda determinada por la fórmula (3.8), obteniéndose:

$$F_y = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot (450 \cdot 0,53 + 705 \cdot 0,25)}{\frac{2}{2} \cdot 2,725} = 4479,30 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje X, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.9) y tiene como resultado:

$$M_x = \frac{3 \cdot 4479,30 \cdot 3}{16} = 2519,61 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje X se obtiene por medio de la ecuación (3.10), cuyo resultado es:

$$\sigma_x = \frac{2519,61}{30,65 \cdot 10^{-6}} = 82,21 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de pandeo*

El cálculo del esfuerzo de pandeo es igual independientemente del caso de distribución de carga en el que se esté, por lo que su valor continúa siendo el mismo.

*Evaluación y comprobación de los esfuerzos combinados*

Los esfuerzos combinados, que son el resultado de la combinación de los esfuerzos de flexión y pandeo a los que están sometidas las guías, son calculados mediante las fórmulas (3.18), (3.19) y (3.20), obteniéndose los siguientes resultados:

$$\sigma_m = 82,21 \cdot 10^6 + 77,58 \cdot 10^6 = 159,79 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 159,79 \cdot 10^6 + \frac{16995,83 + 2,5 \cdot 49,05}{22,74 \cdot 10^{-4}} = 167,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 23,26 \cdot 10^6 + 0,9 \cdot 159,79 \cdot 10^6 = 167,07 \text{ MPa}$$

Comparando sus resultados con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$159,79 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

$$167,32 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

$$167,07 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

De esta forma, se comprueba que la guía es capaz de soportar todos y cada uno de los esfuerzos combinados.

*Evaluación y comprobación del esfuerzo de torsión de la base*

El esfuerzo de torsión aparece como consecuencia de la fuerza ejercida por los apoyos de la cabina sobre la base de las guías, y su cálculo se realiza por medio de la ecuación (3.21), cuyo resultado es:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot 3256,20}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 60,24 \text{ MPa}$$

Comparando su resultado con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$60,24 \text{ MPa} \leq 227,29 \text{ MPa}$$

De esta manera, se comprueba que la base de la guía es capaz de aguantar el esfuerzo de torsión al que está sometida.

### *Evaluación y comprobación de las flechas*

Para el cálculo de las deflexiones que experimentan las guías como consecuencia de las fuerzas que se ejercen sobre ellas, se emplean las fórmulas (3.22) y (3.23), que tienen como resultado:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{3256,20 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 149,9 \cdot 10^{-8}} = 4,07 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{4479,30 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 187,9 \cdot 10^{-8}} = 4,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Comparando sus resultados con el valor de la flecha máxima admisible:

$$4,07 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

$$4,47 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Se comprueba que la deflexión que sufre la guía en ambas direcciones cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1 para la situación de funcionamiento de un componente de seguridad.

### **Utilización normal, funcionamiento**

Para la situación de utilización normal, funcionamiento, al igual que para la de funcionamiento de un componente de seguridad, existen dos casos distintos de distribución de carga, Caso 1 y Caso 2.

#### Caso 1. Distribución de carga respecto al eje X

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje Y*

La fuerza aplicada a las guías por las guíaderas de la cabina, según el eje X, debido a la excentricidad de las cargas Q y P respecto al punto de suspensión de la cabina (S), queda determinada por la fórmula:

$$F_x = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot [Q \cdot (x_Q - x_S) + P \cdot (x_P - x_S)]}{n \cdot h} \quad (3.26)$$

donde:

- $k_2$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (1,2);
- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>);
- Q es la carga nominal (450 kg);

- $x_Q$  es la distancia de la carga nominal respecto al eje Y (0,79 m);  
 $x_S$  es la posición del centro de la suspensión (S) respecto al eje Y (0,40 m<sup>(\*)</sup>);  
 $P$  es la masa de la cabina vacía (705 kg);  
 $x_P$  es la posición de la masa de la cabina respecto al eje Y (0,45 m<sup>(\*)</sup>);  
 $n$  es el número de guías (2);  
 $h$  es la distancia entre guiadoras de cabina (2,725 m).

El factor de impacto  $k_2$  se emplea para tener en consideración la parada brusca de la cabina debido a la actuación del dispositivo eléctrico de seguridad o a la interrupción accidental de la energía de red.

Introduciendo los datos en la fórmula (3.26) se obtiene:

$$F_x = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot [450 \cdot (0,79 - 0,40) + 705 \cdot (0,45 - 0,40)]}{2 \cdot 2,725} = 455,22 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje Y, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.6) y tiene como resultado:

$$M_y = \frac{3 \cdot 455,22 \cdot 3}{16} = 256,06 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje Y se obtiene por medio de la ecuación (3.7), cuyo resultado es:

$$\sigma_y = \frac{256,06}{23,61 \cdot 10^{-6}} = 10,85 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje X*

La fuerza aplicada a las guías por las guiaderas de la cabina, según el eje Y, debido a la excentricidad de las cargas Q y P respecto al punto de suspensión de la cabina (S), queda determinada por la fórmula:

$$F_y = \frac{k_2 \cdot g_n \cdot [Q \cdot (y_Q - y_S) + P \cdot (y_P - y_S)]}{\frac{n}{2} \cdot h} \quad (3.27)$$

donde:

- $k_2$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (1,2);  
 $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>);  
 $Q$  es la carga nominal (450 kg);  
 $y_Q$  es la distancia de la carga nominal respecto al eje X (0,40 m);  
 $y_S$  es la posición del centro de la suspensión (S) respecto al eje X (0,30 m<sup>(\*)</sup>);

- P es la masa de la cabina vacía (705 kg);  
 $y_P$  es la posición de la masa de la cabina respecto al eje X (0,25 m<sup>(\*)</sup>);  
 n es el número de guías (2);  
 h es la distancia entre guías de cabina (2,725 m).

Introduciendo los datos en la fórmula (3.27) se obtiene:

$$F_y = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot [450 \cdot (0,40 - 0,30) + 705 \cdot (0,25 - 0,30)]}{\frac{2}{2} \cdot 2,725} = 42,12 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje X, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.9) y tiene como resultado:

$$M_x = \frac{3 \cdot 42,12 \cdot 3}{16} = 23,69 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje X se obtiene por medio de la ecuación (3.10), cuyo resultado es:

$$\sigma_x = \frac{23,69}{30,65 \cdot 10^{-6}} = 0,77 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de pandeo*

Para esta situación de funcionamiento no existe ningún esfuerzo de pandeo, ya que no se produce la actuación del paracaídas que es el causante de que aparezca una fuerza de frenado sobre las guías, y por tanto, de una fuerza de compresión.

#### *Evaluación y comprobación de los esfuerzos combinados*

Los esfuerzos combinados, que son el resultado de la combinación de los esfuerzos de flexión y pandeo a los que están sometidas las guías, son calculados mediante las fórmulas (3.18) y (3.19), obteniéndose los siguientes resultados:

$$\sigma_m = 0,77 \cdot 10^6 + 10,85 \cdot 10^6 = 11,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 11,62 \cdot 10^6 + \frac{0 + 2,5 \cdot 49,05}{22,74 \cdot 10^{-4}} = 11,67 \text{ MPa}$$

Comparando sus resultados con el valor del esfuerzo máximo admisible que para esta situación de funcionamiento, según la ecuación (3.1), es de 182,14 MPa:

$$11,62 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$



$$11,67 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta forma, se comprueba que la guía es capaz de soportar todos y cada uno de los esfuerzos combinados.

*Evaluación y comprobación del esfuerzo de torsión de la base*

El esfuerzo de torsión aparece como consecuencia de la fuerza ejercida por los apoyos de la cabina sobre la base de las guías, y su cálculo se realiza por medio de la ecuación (3.21), cuyo resultado es:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot 455,22}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 8,42 \text{ MPa}$$

Comparando su resultado con el valor del esfuerzo máximo admisible que para esta situación de funcionamiento, según la ecuación (3.1), es de 182,14 MPa:

$$8,42 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta manera, se comprueba que la base de la guía es capaz de aguantar el esfuerzo de torsión al que está sometida.

*Evaluación y comprobación de las flechas*

Para el cálculo de las deflexiones que experimentan las guías como consecuencia de las fuerzas que se ejercen sobre ellas, se emplean las fórmulas (3.22) y (3.23), que tienen como resultado:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{455,22 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 149,9 \cdot 10^{-8}} = 5,69 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{42,12 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 187,9 \cdot 10^{-8}} = 4,20 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Comparando sus resultados con el valor de la flecha máxima admisible que para esta situación de funcionamiento, según la Norma EN 81-1, es de 10 mm:

$$0,57 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

$$0,04 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

Se comprueba que la deflexión que sufre la guía en ambas direcciones cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1 para la situación de utilización normal, funcionamiento.

### Caso 2. Distribución de carga respecto al eje Y

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje Y*

La fuerza aplicada a las guías por las guíaderas de la cabina, según el eje X, debido a la excentricidad de las cargas Q y P respecto al punto de suspensión de la cabina (S), queda determinada por la fórmula (3.26), obteniéndose:

$$F_x = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot [450 \cdot (0,635 - 0,40) + 705 \cdot (0,45 - 0,40)]}{2 \cdot 2,725} = 304,56 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje Y, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.6) y tiene como resultado:

$$M_y = \frac{3 \cdot 304,56 \cdot 3}{16} = 171,32 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje Y se obtiene por medio de la ecuación (3.7), cuyo resultado es:

$$\sigma_y = \frac{171,32}{23,61 \cdot 10^{-6}} = 7,26 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje X*

La fuerza aplicada a las guías por las guíaderas de la cabina, según el eje Y, debido a la excentricidad de las cargas Q y P respecto al punto de suspensión de la cabina (S), queda determinada por la fórmula (3.27), obteniéndose:

$$F_y = \frac{1,2 \cdot 9,81 \cdot [450 \cdot (0,53 - 0,30) + 705 \cdot (0,25 - 0,30)]}{\frac{2}{2} \cdot 2,725} = 294,84 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje X, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.9) y tiene como resultado:

$$M_x = \frac{3 \cdot 294,84 \cdot 3}{16} = 165,85 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje X se obtiene por medio de la ecuación (3.10), cuyo resultado es:

$$\sigma_x = \frac{165,85}{30,65 \cdot 10^{-6}} = 5,41 \text{ MPa}$$

### *Evaluación del esfuerzo de pandeo*

Para esta situación de funcionamiento, al igual que en el Caso 1, no existe ningún esfuerzo de pandeo.

### *Evaluación y comprobación de los esfuerzos combinados*

Los esfuerzos combinados, que son el resultado de la combinación de los esfuerzos de flexión y pandeo a los que están sometidas las guías, son calculados mediante las fórmulas (3.18) y (3.19), obteniéndose los siguientes resultados:

$$\sigma_m = 5,41 \cdot 10^6 + 7,26 \cdot 10^6 = 12,67 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 12,67 \cdot 10^6 + \frac{0 + 2,5 \cdot 49,05}{22,74 \cdot 10^{-4}} = 12,72 \text{ MPa}$$

Comparando sus resultados con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$12,67 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

$$12,72 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta forma, se comprueba que la guía es capaz de soportar todos y cada uno de los esfuerzos combinados.

### *Evaluación y comprobación del esfuerzo de torsión de la base*

El esfuerzo de torsión aparece como consecuencia de la fuerza ejercida por los apoyos de la cabina sobre la base de las guías, y su cálculo se realiza por medio de la ecuación (3.21), cuyo resultado es:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot 304,56}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 5,63 \text{ MPa}$$

Comparando su resultado con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$5,63 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta manera, se comprueba que la base de la guía es capaz de aguantar el esfuerzo de torsión al que está sometida.

### *Evaluación y comprobación de las flechas*

Para el cálculo de las deflexiones que experimentan las guías como consecuencia de las fuerzas que se ejercen sobre ellas, se emplean las fórmulas (3.22) y (3.23), que tienen como resultado:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{304,56 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 149,9 \cdot 10^{-8}} = 3,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{294,84 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 187,9 \cdot 10^{-8}} = 2,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Comparando sus resultados con el valor de la flecha máxima admisible:

$$0,38 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

$$0,29 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

Se comprueba que la deflexión que sufre la guía en ambas direcciones cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1 para la situación de utilización normal, funcionamiento.

### **Utilización normal, carga**

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje Y*

La fuerza aplicada a las guías por las guiaderas de la cabina, según el eje X, debido a la excentricidad de las cargas P y  $F_s$  respecto al punto de suspensión de la cabina (S), queda determinada por la fórmula:

$$F_x = \frac{g_n \cdot P \cdot (x_P - x_S) + F_s \cdot (x_i - x_S)}{n \cdot h} \quad (3.28)$$

donde:

- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );
- P es la masa de la cabina vacía (705 kg);
- $x_P$  es la posición de la masa de la cabina respecto al eje Y ( $0,45 \text{ m}^{(*)}$ );
- $x_S$  es la posición del centro de la suspensión (S) respecto al eje Y ( $0,40 \text{ m}^{(*)}$ );
- $F_s$  es la fuerza aplicada en la pisadera (en N);
- $x_i$  es la posición de la puerta de la cabina, según la Figura 3.2 ( $1^{(*)}$ ), ( $1,265 \text{ m}^{(*)}$ );
- n es el número de guías (2);
- h es la distancia entre guiadoras de cabina (2,725 m).

Para la obtención del valor de la variable  $F_s$  que actúa en el centro de la pisadera durante la carga y descarga de la cabina, la Norma EN 81-1 establece tres casos distintos según sea la carga nominal del ascensor inferior, igual o superior a 2500 kg, o igual o superior a 2500 kg y se utilice para carretillas elevadoras, siendo este último descartado para su empleo en la aplicación DISAE 1.0. Por tanto, dado que la carga nominal del ascensor es de 450 kg, que es inferior a 2500 kg, la fuerza aplicada en la pisadera queda determinada por la ecuación:

$$F_s = 0,4 \cdot g_n \cdot Q \quad (3.29)$$

donde:

$g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );  
 $Q$  es la carga nominal (450 kg).

Sustituyendo los valores en (3.29) resulta:

$$F_s = 0,4 \cdot 9,81 \cdot 450 = 1765,80 \text{ N}$$

Introduciendo todos los datos en la fórmula (3.28) se obtiene:

$$F_x = \frac{9,81 \cdot 705 \cdot (0,45 - 0,40) + 1765,80 \cdot (1,265 - 0,40)}{2 \cdot 2,725} = 343,71 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje Y, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.6) y tiene como resultado:

$$M_y = \frac{3 \cdot 343,71 \cdot 3}{16} = 193,34 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje Y se obtiene por medio de la ecuación (3.7), cuyo resultado es:

$$\sigma_y = \frac{193,34}{23,61 \cdot 10^{-6}} = 8,19 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje X*

La fuerza aplicada a las guías por las guíaderas de la cabina, según el eje Y, debido a la excentricidad de las cargas P y  $F_s$  respecto al punto de suspensión de la cabina (S), queda determinada por la fórmula:

$$F_y = \frac{g_n \cdot P \cdot (y_P - y_S) + F_s \cdot (y_i - y_S)}{\frac{\pi}{2} h} \quad (3.30)$$

donde:

- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );
- $P$  es la masa de la cabina vacía ( $705 \text{ kg}$ );
- $y_P$  es la posición de la masa de la cabina respecto al eje X ( $0,25 \text{ m}^{(*)}$ );
- $y_S$  es la posición del centro de la suspensión (S) respecto al eje X ( $0,30 \text{ m}^{(*)}$ );
- $F_s$  es la fuerza aplicada en la pisadera ( $1765,80 \text{ N}$ );
- $y_i$  es la posición de la puerta de la cabina, según la Figura 3.2 ( $1^{(*)}$ ), ( $0,65 \text{ m}^{(*)}$ );
- $n$  es el número de guías (2);
- $h$  es la distancia entre guiadoras de cabina ( $2,725 \text{ m}$ ).

Introduciendo los datos en la fórmula (3.30) se obtiene:

$$F_y = \frac{9,81 \cdot 705 \cdot (0,25 - 0,30) + 1765,80 \cdot (0,65 - 0,30)}{\frac{2}{2} \cdot 2,725} = 99,90 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje X, debido a la fuerza aplicada sobre las guías se calcula mediante la expresión (3.9) y tiene como resultado:

$$M_x = \frac{3 \cdot 99,90 \cdot 3}{16} = 56,19 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje X se obtiene por medio de la ecuación (3.10), cuyo resultado es:

$$\sigma_x = \frac{56,19}{30,65 \cdot 10^{-6}} = 1,83 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación del esfuerzo de pandeo*

Para esta situación, al igual que para la de funcionamiento normal, no existe ningún esfuerzo de pandeo, ya que no se produce la actuación del paracaídas que es el causante de que aparezca una fuerza de frenado sobre las guías, y por tanto, de una fuerza de compresión.

#### *Evaluación y comprobación de los esfuerzos combinados*

Los esfuerzos combinados, que son el resultado de la combinación de los esfuerzos de flexión y pandeo a los que están sometidas las guías, son calculados mediante las fórmulas (3.18) y (3.19), obteniéndose los siguientes resultados:

$$\sigma_m = 1,83 \cdot 10^6 + 8,19 \cdot 10^6 = 10,02 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 10,02 \cdot 10^6 + \frac{0 + 2,5 \cdot 49,05}{22,74 \cdot 10^{-4}} = 10,07 \text{ MPa}$$

Comparando sus resultados con el valor del esfuerzo máximo admisible que para esta situación de funcionamiento, según la ecuación (3.1), es de 182,14 MPa:

$$10,02 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

$$10,07 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta forma, se comprueba que la guía es capaz de soportar todos y cada uno de los esfuerzos combinados.

#### *Evaluación y comprobación del esfuerzo de torsión de la base*

El esfuerzo de torsión aparece como consecuencia de la fuerza ejercida por los apoyos de la cabina sobre la base de las guías, y su cálculo se realiza por medio de la ecuación (3.21), cuyo resultado es:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot 343,71}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 6,36 \text{ MPa}$$

Comparando su resultado con el valor del esfuerzo máximo admisible que para esta situación de funcionamiento, según la ecuación (3.1), es de 182,14 MPa:

$$6,36 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta manera, se comprueba que la base de la guía es capaz de aguantar el esfuerzo de torsión al que está sometida.

#### *Evaluación y comprobación de las flechas*

Para el cálculo de las deflexiones que experimentan las guías como consecuencia de las fuerzas que se ejercen sobre ellas, se emplean las fórmulas (3.22) y (3.23), que tienen como resultado:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{343,71 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 149,9 \cdot 10^{-8}} = 4,30 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{99,90 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 187,9 \cdot 10^{-8}} = 9,97 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Comparando sus resultados con el valor de la flecha máxima admisible que para esta situación de funcionamiento, según la Norma EN 81-1, es de 10 mm:

$$0,43 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

$$0,10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

Se comprueba que la deflexión que sufre la guía en ambas direcciones cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1 para la situación de utilización normal, carga.

Por tanto, en vista de que las comprobaciones realizadas para cada una de las tres situaciones de funcionamiento de la cabina han resultado correctas, se puede concluir que la guía seleccionada inicialmente, T127-1/B, es la guía idónea para la configuración de cabina descrita durante la ejecución de los cálculos, ya que cumple todos los requisitos establecidos por la Norma EN 81-1.

### 3.3.2 Guías del contrapeso

Las guías seleccionadas para el contrapeso, como ya se ha comentado en el apartado 3.3.1, son del mismo tipo que las de la cabina (guías cepilladas), ya que la velocidad con la que se desplaza el contrapeso es igual a la de la cabina. Y como para la cabina se han elegido guías que soportan velocidades de hasta 1,6 m/s, las instaladas para el contrapeso deben ser de las mismas características por si se llega a alcanzar esa velocidad, que es la máxima que se permite en la aplicación DISAE 1.0.

Aunque en la Norma EN 81-1 no aparece explícitamente el caso de resolución de un contrapeso, sí se dan algunas indicaciones de cómo llevarlo a cabo.

En primer lugar, la Norma establece que cuando existan espacios accesibles que estén situados debajo de la trayectoria del contrapeso éste debe ir provisto de un paracaídas, y además añade en una nota, que los huecos de ascensor no deberían situarse por encima de un espacio accesible a personas, por lo que se ha supuesto que el ascensor se sitúa en un lugar por debajo del cual no puedan acceder personas, despreciándose la instalación de paracaídas en el contrapeso.

De esta forma, las situaciones para las que se van a calcular las guías del contrapeso, en comparación con las de la cabina, se reducen únicamente al funcionamiento normal del mismo, ya que no existen dispositivos paracaídas ni se realizan acciones de carga y descarga. Evaluándose para este caso los esfuerzos de flexión, combinados, la torsión de la base y las flechas.



### Funcionamiento normal

La norma EN 81-1 establece que las fuerzas de guiado del contrapeso ( $F_x$  y  $F_y$ ) deben evaluarse tomando en consideración el punto de aplicación de la masa, la suspensión y las fuerzas debidas a los cables o cadenas de compensación.

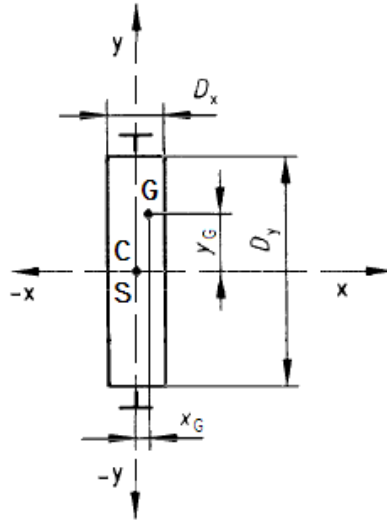


Figura 3.5 Esquema acotado de un contrapeso.

Suponiendo que el guiado y suspendido del contrapeso es por el centro, la Norma EN 81-1 indica que debe tomarse en consideración una excentricidad del punto de aplicación de la masa (G) respecto al centro de gravedad del área de la sección horizontal del contrapeso de por lo menos un 5% de anchura y un 10% de fondo (Figura 3.5), quedando determinada por las ecuaciones:

$$x_G = 0,1 \cdot D_x \quad (3.31)$$

$$y_G = 0,05 \cdot D_y \quad (3.32)$$

donde:

$D_x$  es la profundidad del contrapeso según el eje X (0,094 m);

$D_y$  es la anchura del contrapeso según el eje Y (0,864 m).

Sustituyendo los valores en (3.31) y (3.32) se obtiene:

$$x_G = 0,1 \cdot 0,094 = 9,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$y_G = 0,05 \cdot 0,864 = 4,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

En cuanto a las fuerzas debidas a los cables o cadenas de compensación, como ya se ha comentado en el cálculo de las guías de la cabina, no se tienen en cuenta porque no se emplean.

*Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje Y*

La fuerza aplicada a las guías por las guideras del contrapeso, según el eje X, debido a la excentricidad de la carga G, queda determinada por la fórmula:

$$F_x = \frac{g_n \cdot (G \cdot x_G)}{n \cdot h} \quad (3.33)$$

donde:

- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );
- $G$  es la masa del contrapeso (en kg);
- $x_G$  es la distancia de la masa del contrapeso respecto al eje Y ( $9,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ );
- $n$  es el número de guías (2);
- $h$  es la distancia entre guideras de contrapeso ( $2,725 \text{ m}^{(*)}$ ).

El valor de la variable G se obtiene mediante la ecuación:

$$G = P + q \cdot Q \quad (3.34)$$

donde:

- $P$  es la masa de la cabina vacía (705 kg);
- $q$  es el factor de equilibrado que indica la parte de la carga nominal equilibrada por el contrapeso ( $0,5^{(*)}$ );
- $Q$  es la carga nominal (450 kg).

Sustituyendo los valores en (3.34) resulta:

$$G = 705 + 0,5 \cdot 450 = 930 \text{ kg}$$

e introduciendo todos los datos en la fórmula (3.33) se obtiene:

$$F_x = \frac{9,81 \cdot (930 \cdot 9,40 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot 2,725} = 15,74 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje Y, debido a la fuerza aplicada sobre las guías viene mostrado por la expresión:

$$M_y = \frac{3 \cdot k_3 \cdot F_x \cdot l}{16} \quad (3.35)$$

donde:

- $k_3$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (2,5);
- $F_x$  es la fuerza aplicada a las guías por las guiaderas según el eje X (15,74 N);
- $l$  es la distancia máxima entre fijaciones de guías (3 m).

La variable  $F_x$  va multiplicada por el factor de impacto  $k_3$ , ya que según la Norma EN 81-1 las fuerzas aplicadas a las guías del contrapeso deben estar operadas por ese factor para tomar en consideración el posible rebote del contrapeso cuando la cabina es detenida con una deceleración mayor a  $1 g_n$ , hecho que ocurre al tener instalado en la cabina un paracaídas de tipo no progresivo para el que la Norma indica que la deceleración media debe estar comprendida entre  $0,2 g_n$  y  $1 g_n$ . Por tanto, al haberse seleccionado un paracaídas instantáneo con efecto amortiguado la deceleración de la cabina será mayor a  $1 g_n$  debido a que estos paracaídas detienen la cabina con una mayor brusquedad.

Sustituyendo los valores en (3.35) resulta:

$$M_y = \frac{3 \cdot 2,5 \cdot 15,74 \cdot 3}{16} = 22,13 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje Y se obtiene por medio de la ecuación (3.7), cuyo resultado es:

$$\sigma_y = \frac{22,13}{6,766 \cdot 10^{-6}} = 3,27 \text{ MPa}$$

El valor introducido de  $W_y$  (Anexo A) se corresponde con el de una guía T78/B que es la primera guía seleccionada, de entre las cuatro que se ofrecen en la aplicación DISAE 1.0 para contrapesos (T78/B, T75/B, T82/B y T89/B), en cumplir los requisitos.

#### *Evaluación del esfuerzo de flexión respecto al eje X*

La fuerza aplicada a las guías por las guiaderas del contrapeso, según el eje Y, debido a la excentricidad de la carga G, queda determinada por la fórmula:

$$F_y = \frac{g_n \cdot (G \cdot y_G)}{\frac{n}{2} \cdot h} \quad (3.36)$$

donde:

- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );
- $G$  es la masa del contrapeso (930 kg);
- $y_G$  es la distancia de la masa del contrapeso respecto al eje X ( $4,32 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ );

- n es el número de guías (2);  
h es la distancia entre guiadoras de contrapeso (2,725 m<sup>(\*)</sup>).

Introduciendo los datos en la fórmula (3.36) se obtiene:

$$F_y = \frac{9,81 \cdot (930 \cdot 4,32 \cdot 10^{-2})}{\frac{2}{2} \cdot 2,725} = 144,63 \text{ N}$$

El momento flector, respecto al eje X, debido a la fuerza aplicada sobre las guías viene mostrado por la expresión:

$$M_x = \frac{3 \cdot k_3 \cdot F_y \cdot l}{16} \quad (3.37)$$

donde:

- k<sub>3</sub> es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (2,5);  
F<sub>y</sub> es la fuerza aplicada a las guías por las guiaderas según el eje Y (144,63 N);  
l es la distancia máxima entre fijaciones de guías (3 m).

Sustituyendo los valores en (3.37) resulta:

$$M_x = \frac{3 \cdot 2,5 \cdot 144,63 \cdot 3}{16} = 203,39 \text{ Nm}$$

Por último, el esfuerzo de flexión sobre la guía respecto al eje X se obtiene por medio de la ecuación (3.10), cuyo resultado es:

$$\sigma_x = \frac{203,39}{7,564 \cdot 10^{-6}} = 26,89 \text{ MPa}$$

#### *Evaluación y comprobación de los esfuerzos combinados*

Los esfuerzos combinados, que son el resultado de la combinación de los esfuerzos de flexión y pandeo a los que están sometidas las guías, son calculados mediante las fórmulas (3.18) y (3.19), obteniéndose los siguientes resultados:

$$\sigma_m = 26,89 \cdot 10^6 + 3,27 \cdot 10^6 = 30,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 30,16 \cdot 10^6 + \frac{0 + 2,5 \cdot 24,53}{9,847 \cdot 10^{-4}} = 30,22 \text{ MPa}$$

Habiéndose supuesto para este caso un valor de la variable M igual a 24,53 N.

Comparando sus resultados con el valor del esfuerzo máximo admisible que para esta situación de funcionamiento, según la ecuación (3.1), es de 182,14 MPa:

$$30,16 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

$$30,22 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta forma, se comprueba que la guía es capaz de soportar todos y cada uno de los esfuerzos combinados.

#### *Evaluación y comprobación del esfuerzo de torsión de la base*

El esfuerzo de torsión aparece como consecuencia de la fuerza ejercida por los apoyos del contrapeso sobre la base de las guías, y viene determinado por la ecuación:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot k_3 \cdot F_x}{c^2} \leq \sigma_{perm} \quad (3.38)$$

donde:

- $k_3$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (2,5);
- $F_x$  es la fuerza ejercida por la rozadura sobre la base (15,74 N);
- $c$  es la anchura de la parte de conexión de la base con la cabeza de la guía según el Anexo A ( $7 \cdot 10^{-3}$  m);
- $\sigma_{perm}$  es el esfuerzo admisible, según la ecuación (3.1) (182,14 MPa).

Introduciendo los valores en la ecuación (3.38) se obtiene:

$$\sigma_F = \frac{1,85 \cdot 2,5 \cdot 15,74}{(7 \cdot 10^{-3})^2} = 1,49 \text{ MPa}$$

Comparando su resultado con el valor del esfuerzo máximo admisible:

$$1,49 \text{ MPa} \leq 182,14 \text{ MPa}$$

De esta manera, se comprueba que la base de la guía es capaz de aguantar el esfuerzo de torsión al que está sometida.

#### *Evaluación y comprobación de las flechas*

Para el cálculo de las deflexiones que experimentan las guías como consecuencia de las fuerzas que se ejercen sobre ellas, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{k_3 \cdot F_x \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \leq \delta_{perm} \quad (3.39)$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{k_3 \cdot F_y \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \leq \delta_{perm} \quad (3.40)$$

donde:

- $\delta_x$  es la flecha en el eje X (en m);
- $k_3$  es el factor de impacto según la Tabla 3.3 (2,5);
- $F_x$  es la fuerza de apoyo ejercida en el eje X (15,74 N);
- $l$  es la máxima distancia entre fijaciones de guía (3 m);
- $E$  es el módulo de elasticidad del acero (210 GPa<sup>(\*)</sup>, acero estructural);
- $I_y$  es el momento de inercia de la sección de guía en el eje Y, según el Anexo A (26,39·10<sup>-8</sup> m);
- $\delta_y$  es la flecha en el eje Y (en m);
- $F_y$  es la fuerza de apoyo ejercida en el eje Y (144,63 N);
- $I_x$  es el momento de inercia de la sección de guía en el eje X, según el Anexo A (29,92·10<sup>-8</sup> m);
- $\delta_{perm}$  es la flecha admisible, según la Norma EN 81-1 (10 mm).

Sustituyendo los datos en las fórmulas (3.39) y (3.40) resulta:

$$\delta_x = 0,7 \cdot \frac{2,5 \cdot 15,74 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 26,39 \cdot 10^{-8}} = 2,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta_y = 0,7 \cdot \frac{2,5 \cdot 144,63 \cdot 3^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 29,92 \cdot 10^{-8}} = 2,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Comparando sus resultados con el valor de la flecha máxima admisible:

$$0,28 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

$$2,27 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm}$$

Se comprueba que la deflexión que sufre la guía en ambas direcciones cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1.

Por tanto, en vista de que las comprobaciones realizadas para la situación de funcionamiento del contrapeso han resultado correctas, se puede concluir que la guía seleccionada inicialmente, T78/B, es la guía idónea para la configuración de contrapeso descrita durante la ejecución de los cálculos, ya que cumple todos los requisitos establecidos por la Norma EN 81-1.

### 3.4 Cálculos para el diseño de los cables de suspensión

Según la Norma EN 81-1, los cables de suspensión deben satisfacer dos requisitos: en primer lugar, el diámetro nominal de los cables debe ser como mínimo de 8 mm, y en segundo lugar, la resistencia a la tracción de sus alambres debe ser de 1570 N/mm<sup>2</sup> ó 1770 N/mm<sup>2</sup> para cables de una sola resistencia, mientras que en los de dos resistencias ésta debe ser de 1370 N/mm<sup>2</sup> para los alambres exteriores y de 1770 N/mm<sup>2</sup> para los interiores.

Teniendo en cuenta estos requisitos se ha decidido seleccionar para este proyecto las configuraciones 8x19S-FC y 8x19W-FC que ofrece el fabricante Pfeifer Drako [9], cuyas características aparecen en el Anexo B. Además, para su elección también se ha considerado que, por un lado, la configuración 8x19S-FC, que presenta una estructura de cordón de tipo *Seale*, es la más empleada debido a que sus gruesos alambres exteriores retardan la rotura del cable por abrasión, y por el otro, que la configuración 8x19W-FC, cuya estructura de cordón es *Warrington*, presenta mejores propiedades frente a la fatiga por flexión que la anterior, lo cual se debe a que esta configuración tiene más y pequeños alambres por cordón, utilizándose en ascensores de arrollamiento completo.

Antes de comenzar con el desarrollo de los cálculos es necesario determinar cuál va a ser la configuración de la suspensión que soporte las masas de la cabina y del contrapeso. Para ello se hace uso de la información que presenta el fabricante Mitsubishi Electric [15] sobre sistemas de suspensión que se muestra en el Anexo C.

Suponiendo que la máquina tractora está colocada en la parte superior del hueco del ascensor, en su correspondiente cuarto de máquinas, y teniendo en cuenta que la velocidad nominal del ascensor diseñado es de 1 m/s (media velocidad) y que la carga del mismo es inferior a 2000 kg, de entre todas las configuraciones que aparecen en el Anexo C se ha decidido tomar la primera de ellas (Figura 3.6), ya que reúne las características expuestas anteriormente.

Esta configuración presenta una relación de suspensión directa 1:1, lo que significa que las cargas a las que están sometidos los cables no se ven reducidas, tal y como sí ocurre en una suspensión 2:1 en la que las cargas disminuyen a la mitad. Además, la velocidad de la cabina en la suspensión 1:1 es la misma que la de los cables, mientras que en una suspensión 2:1 la velocidad de la cabina se reduce a la mitad respecto a la de los cables. Su método de suspensión es de medio arrollamiento, donde los cables sólo se enrollan una vez alrededor de la polea tractora, presentando una menor tracción con respecto al arrollamiento completo.

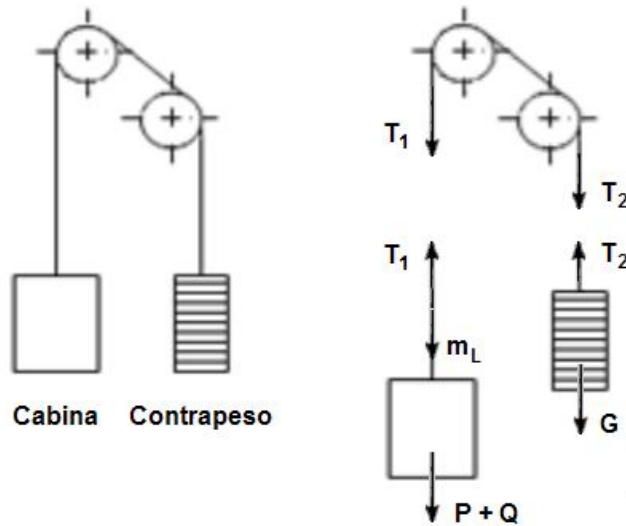


Figura 3.6 Esquema y diagrama de fuerzas de una suspensión 1:1 [15].

Para determinar la fuerza de tensión a la que está sometido cada cable debido a las cargas P, Q o G, al peso del cable y a la relación de suspensión de la instalación, cuando la cabina se encuentra en el nivel de parada más bajo, se emplean las siguientes ecuaciones en relación con la Figura 3.6:

$$T_1 = \frac{(P+Q) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot g_n \cdot H \quad (3.41)$$

$$T_2 = \frac{(G) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \quad (3.42)$$

donde:

- P es la masa de la cabina vacía (705 kg);
- Q es la carga nominal (450 kg);
- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );
- r es el factor de suspensión (1);
- $n_s$  es el número de cables;
- $m_L$  es la masa del cable por unidad de longitud (en kg/m), según el Anexo B;
- H es la altura del recorrido de la cabina ( $18 \text{ m}^{(*)}$ );
- G es la masa del contrapeso, según la ecuación (3.34) (930 kg).

El número de cables seleccionado, de entre los cinco que se ofrecen en la aplicación DISAE 1.0 (2, que es el mínimo que permite la Norma, 3, 4, 5 y 6), es el de 4. La elección de este número de cables se debe a que con él y con el diámetro que se va a seleccionar a continuación, el coeficiente de seguridad de los cables supera el mínimo indicado en la Norma EN 81-1.



La configuración elegida para los cables, teniendo en cuenta que el método de suspensión del ascensor es de medio arrollamiento, es 8x19S-FC cuyas características técnicas se encuentran en el Anexo B, y del que se ha obtenido que  $m_L$  es igual a 0,273 kg/m para un diámetro de cable de 9 mm, seleccionado éste de entre los cinco que se ofrecen en la aplicación DISAE 1.0 (8, que es el mínimo que permite la Norma, 9, 10, 11 y 12 mm).

Sustituyendo todos los valores en las ecuaciones (3.41) y (3.42) se obtiene:

$$T_1 = \frac{(705 + 450) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 = 2880,84 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{(930) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} = 2280,83 \text{ N}$$

Contemplando los resultados se comprueba que la mayor fuerza de tensión se alcanza en el lado donde se sitúa la mayor masa, siendo el valor de 2880,84 N el de la fuerza máxima a la que está sometido el cable.

Para realizar el cálculo del coeficiente de seguridad de los cables de suspensión la Norma EN 81-1 indica que éste puede hacerse según uno de sus anexos, pero en su lugar, para este proyecto, se va a realizar teniendo en cuenta la propia definición de coeficiente de seguridad que ofrece la Norma, y que es igualmente válida. En ella se señala que este coeficiente es la relación entre la carga de rotura mínima, en newtons, de un cable y la fuerza máxima, en newtons, en este cable cuando la cabina se encuentra en el nivel de parada más bajo, con su carga nominal.

Por lo que, el coeficiente de seguridad de los cables queda determinado por la fórmula:

$$S_f = \frac{F_{min}}{F_s} \geq 12 \quad (3.43)$$

donde:

$F_{min}$  es la fuerza mínima de rotura del cable, según el Anexo B (38400 N);

$F_s$  es la fuerza máxima que soporta un cable (2880,84 N).

El valor con el que es comparado  $S_f$  se corresponde con el del coeficiente de seguridad mínimo que la Norma EN 81-1 establece en 16 para el caso de tracción por adherencia con dos cables, y en 12 en el caso de tres cables o más.

Sustituyendo los datos en (3.43) resulta:

$$S_f = \frac{38400}{2880,84} = 13,33$$

Comparando su resultado con el valor del coeficiente de seguridad mínimo:

$$13,33 \geq 12$$

Se comprueba que el coeficiente de seguridad que presenta el cable cumple con lo establecido en la Norma EN 81-1.

Por tanto, en vista de que la comprobación realizada ha resultado correcta, se puede concluir que los cables seleccionados inicialmente, cuatro cables de 9 mm de tipo 8x19S-FC, son los cables idóneos para la configuración de la suspensión descrita en este apartado, ya que cumple todos los requisitos establecidos por la Norma EN 81-1.

### **3.5 Cálculos para el diseño de la polea de tracción**

La Norma EN 81-1 establece dos modos de accionamiento de la cabina y del contrapeso, el primero de ellos, por adherencia de los cables en la garganta de la polea de tracción del grupo tractor, y el segundo, por arrollamiento del cable en un tambor que hace girar el grupo tractor. De estos dos, el seleccionado para este proyecto es el de tracción por adherencia, ya que es el más empleado debido a su mayor sencillez, a que permite instalar ascensores de cualquier altura, y a la seguridad adicional que presenta en caso de fallo de los finales de carrera [2].

Para evaluar la tracción por adherencia de los cables, en primer lugar, se va a proceder a calcular el coeficiente de rozamiento mínimo (o máximo dependiendo de la situación) que posibilite y asegure la tracción (o el deslizamiento) durante el recorrido normal del ascensor y en las condiciones de carga en cabina, de frenado de emergencia y de cabina retenida, siendo estas tres últimas en las cuales la Norma EN 81-1 indica que debe evaluarse dicho coeficiente.

#### **Condición de carga en cabina**

Para la condición de carga en cabina, la Norma EN 81-1 establece que la relación estática entre las fuerzas de tensión de los cables situados a un lado y otro de la polea ( $T_1/T_2$ ) tiene que evaluarse para el caso más desfavorable de la posición de la cabina en el hueco del ascensor con el 125% de la carga nominal, lo que lleva a considerar dos casos.

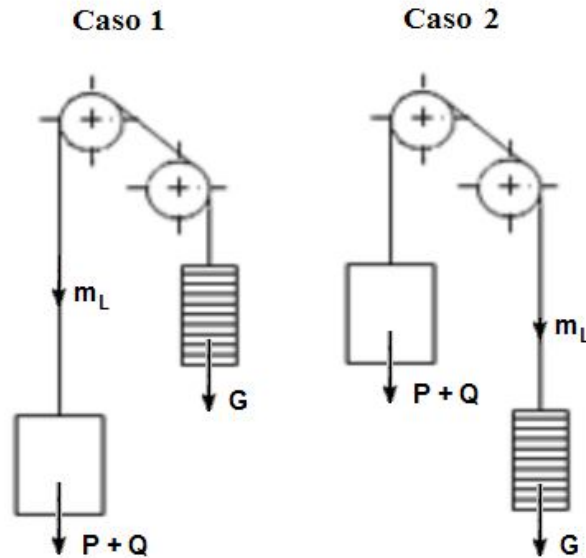


Figura 3.7 Posiciones del ascensor para la condición de carga en cabina.

### Caso 1

En este caso, la cabina se sitúa de forma estática en la planta baja del edificio, tal y como se muestra en la Figura 3.7.

La máxima tracción que puede soportar la garganta de una polea de cables viene expresada por la fórmula de Euler:

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{f \cdot \alpha} \quad (3.44)$$

donde:

$T_1, T_2$  son las fuerzas de tensión (en N), mayor y menor respectivamente, de los cables situados a un lado y otro de la polea de tracción;

$f$  es el coeficiente de rozamiento;

$\alpha$  es el ángulo de abrazamiento de los cables sobre la polea de tracción ( $150^\circ = 2,62 \text{ rad}^{(*)}$ ).

Para determinar la fuerza de tensión a la que están sometidos los cables de tracción debido a las cargas  $P, Q$  o  $G$ , al peso del cable y a la relación de suspensión de la instalación, se emplean las ecuaciones (3.45) y (3.42):

$$T_1 = \frac{(P+1,25 \cdot Q) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot g_n \cdot H \quad (3.45)$$

donde:

- P es la masa de la cabina vacía (705 kg);  
 Q es la carga nominal (450 kg);  
 $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>);  
 r es el factor de suspensión (1);  
 $n_s$  es el número de cables (4);  
 $m_L$  es la masa del cable por unidad de longitud, según el Anexo B (0,273 kg/m);  
 H es la altura del recorrido de la cabina (18 m<sup>(\*)</sup>);  
 G es la masa del contrapeso (930 kg).

Sustituyendo los datos en las ecuaciones (3.45) y (3.42) se obtiene:

$$T_1 = \frac{(705 + 1,25 \cdot 450) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 = 3156,75 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{(930) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} = 2280,83 \text{ N}$$

Introduciendo todos los valores en la fórmula (3.44) y despejando de ella el coeficiente de rozamiento, se tiene:

$$f \geq \frac{\ln \frac{3156,75}{2280,83}}{2,62} = 0,12$$

## Caso 2

Para este caso, la cabina se sitúa de forma estática en la planta más alta del edificio (Figura 3.7), quedando determinada la fuerza de tensión a la que están sometidos los cables de tracción por las expresiones:

$$T_1 = \frac{(P+1,25 \cdot Q) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \quad (3.46)$$

$$T_2 = \frac{(G) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot g_n \cdot H \quad (3.47)$$

Sustituyendo los datos en las expresiones (3.46) y (3.47) resulta:

$$T_1 = \frac{(705 + 1,25 \cdot 450) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} = 3108,54 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{(930) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 = 2329,03 \text{ N}$$

Introduciendo todos los valores en la fórmula (3.44) y despejando de ella el coeficiente de rozamiento, se tiene:

$$f \geq \frac{\ln \frac{3108,54}{2329,03}}{2,62} = 0,11$$

Contemplando los resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento, 0,12 para el Caso 1 y 0,11 para el Caso 2, se llega a la conclusión de que el valor limitante es el del Caso 1. Por lo tanto, cuando la cabina se encuentre cargada con el 125% de la carga nominal y se sitúe estáticamente en la parte inferior del hueco del ascensor, el coeficiente de rozamiento que debe existir para que no se produzca deslizamiento entre los cables y la garganta de la polea tractora debe ser mayor o igual a 0,12.

### Condición de frenado de emergencia

Para la condición de frenado de emergencia, la Norma EN 81-1 indica que la relación dinámica  $T_1/T_2$  tiene que evaluarse para el caso más desfavorable de la posición de la cabina en el hueco y de las condiciones de carga de la cabina (vacía o con carga nominal). Aquí también se van a considerar dos casos.

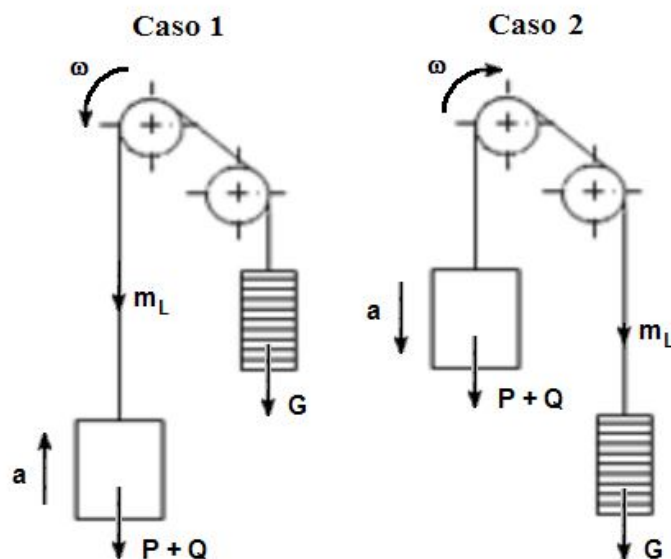


Figura 3.8 Posiciones del ascensor para la condición de frenado de emergencia.

#### Caso 1

En este caso, la cabina, cargada y descargada, se encuentra en movimiento descendente y llegando a la planta baja del edificio cuando se produce el frenado de emergencia, tal y como se muestra en la Figura 3.8.

Para determinar la fuerza de tensión a la que están sometidos los cables de tracción, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$T_1 = \frac{(P+Q) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot g_n \cdot H + \left( \frac{P+Q}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot H \cdot r \right) \cdot a \quad (3.48)$$

$$T_1' = \frac{(P) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot g_n \cdot H + \left( \frac{P}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot H \cdot r \right) \cdot a \quad (3.49)$$

$$T_2 = \frac{(G) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + \left( \frac{G}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \right) \cdot a \quad (3.50)$$

donde:

- P es la masa de la cabina vacía (705 kg);
- Q es la carga nominal (450 kg);
- $g_n$  es la aceleración normal de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>);
- r es el factor de suspensión (1);
- $n_s$  es el número de cables (4);
- $m_L$  es la masa del cable por unidad de longitud, según el Anexo B (0,273 kg/m);
- H es la altura del recorrido de la cabina (18 m<sup>(\*)</sup>);
- a es la deceleración de frenado (valor positivo) en la cabina (0,7 m/s<sup>2</sup> (\*));
- $T_1'$  es la fuerza de tensión del cable cuando no existe carga nominal (en N);
- G es la masa del contrapeso (930 kg).

El valor de la deceleración se ha supuesto igual a 0,7 m/s<sup>2</sup> teniendo en cuenta la indicación que hace la Norma EN 81-1 de que ésta no debe ser menor a 0,5 m/s<sup>2</sup> para el caso normal.

Sustituyendo los datos en las ecuaciones (3.48), (3.49) y (3.50) se obtiene:

$$T_1 = \frac{(705 + 450) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 + \left( \frac{705 + 450}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 18 \cdot 1 \right) \cdot 0,7 = 3086,41 \text{ N}$$

$$T_1' = \frac{(705) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 + \left( \frac{705}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 18 \cdot 1 \right) \cdot 0,7 = 1904,03 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{(930) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + \left( \frac{930}{1} \cdot \frac{1}{4} \right) \cdot 0,7 = 2443,58 \text{ N}$$

Introduciendo todos los valores en la fórmula (3.44) y despejando de ella el coeficiente de rozamiento, se obtienen los valores de éste para la situación de cabina con carga nominal ( $f$ ) y sin ella ( $f'$ ):

$$f \geq \frac{\ln \frac{3086,41}{2443,58}}{2,62} = 0,09$$

$$f' \geq \frac{\ln \frac{2443,58}{1904,03}}{2,62} = 0,10$$

En esta última situación (sin carga nominal) la fuerza de mayor tensión se corresponde con los cables posicionados en el lado del contrapeso, mientras que la de menor tensión lo hace con la del lado de la cabina, es por ello por lo que  $T_2$  pasa a considerarse ahora  $T_1$ , y  $T_1'$  a considerarse  $T_2$ .

### Caso 2

En este caso, la cabina, cargada y descargada, se encuentra en movimiento ascendente y llegando a la planta más alta del edificio cuando se produce el frenado de emergencia (Figura 3.8), quedando determinada la fuerza de tensión a la que están sometidos los cables de tracción por las expresiones:

$$T_1 = \frac{(P+Q) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + \left( \frac{P+Q}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \right) \cdot a \quad (3.51)$$

$$T_1' = \frac{(P) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + \left( \frac{P}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \right) \cdot a \quad (3.52)$$

$$T_2 = \frac{(G) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot g_n \cdot H + \left( \frac{G}{r} \cdot \frac{1}{n_s} + m_L \cdot H \cdot r \right) \cdot a \quad (3.53)$$

Sustituyendo los datos en las expresiones (3.51), (3.52) y (3.53) resulta:

$$T_1 = \frac{(705 + 450) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + \left( \frac{705 + 450}{1} \cdot \frac{1}{4} \right) \cdot 0,7 = 3034,76 \text{ N}$$

$$T_1' = \frac{(705) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + \left( \frac{705}{1} \cdot \frac{1}{4} \right) \cdot 0,7 = 1852,39 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{(930) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 + \\ + \left( \frac{930}{1} \cdot \frac{1}{4} + 0,273 \cdot 18 \cdot 1 \right) \cdot 0,7 = 2495,22 \text{ N}$$

Introduciendo todos los valores en la fórmula (3.44) y despejando de ella el coeficiente de rozamiento, se obtienen los valores de éste para la situación de cabina con carga nominal ( $f$ ) y sin ella ( $f'$ ):

$$f \geq \frac{\ln \frac{3034,76}{2495,22}}{2,62} = 0,07$$

$$f' \geq \frac{\ln \frac{2495,22}{1852,39}}{2,62} = 0,11$$

Observando los resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento para los dos casos y las dos situaciones de carga de cada uno de ellos, se llega a la conclusión de que el más desfavorable es el del Caso 2 sin carga nominal. Por lo tanto, cuando la cabina se encuentre descargada y en movimiento hacia la parte superior del hueco del ascensor, el coeficiente de rozamiento que debe existir para que no se produzca deslizamiento entre los cables y la garganta de la polea tractora, al producirse el frenado de emergencia, debe ser mayor o igual a 0,11.

### Condición de cabina retenida

Para la condición de cabina retenida, la Norma EN 81-1 establece que la relación estática  $T_1/T_2$  tiene que evaluarse para el caso más desfavorable de la posición de la cabina en el hueco y de las condiciones de carga de la cabina (vacía o con carga nominal), siendo éste cuando el contrapeso se encuentra descansando sobre los amortiguadores y la máquina girando en sentido de subida (Figura 3.9).

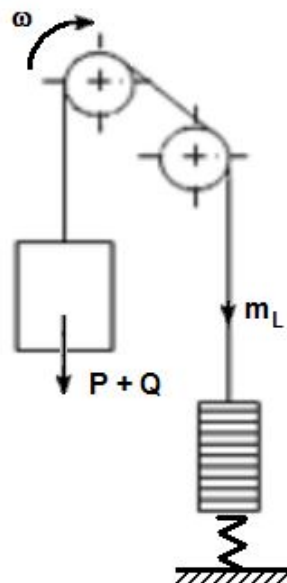


Figura 3.9 Posición del ascensor para la condición de cabina retenida.



En este caso, la fórmula de Euler (3.44) se ve modificada, ya que ahora lo que se requiere es que haya deslizamiento de los cables en la garganta de la polea:

$$\frac{T_1}{T_2} \geq e^{f \cdot \alpha} \quad (3.54)$$

Para determinar la fuerza de tensión a la que están sometidos los cables de tracción, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$T_1 = \frac{(P+Q) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \quad (3.55)$$

$$T'_1 = \frac{(P) \cdot g_n}{r} \cdot \frac{1}{n_s} \quad (3.56)$$

$$T_2 = m_L \cdot g_n \cdot H \quad (3.57)$$

La fuerza de tensión  $T_2$  se debe únicamente al peso propio del cable, ya que el contrapeso se encuentra apoyado sobre los amortiguadores, no contribuyendo con su masa a aumentar la tensión del cable.

Sustituyendo los datos en las ecuaciones (3.55), (3.56) y (3.57) resulta:

$$T_1 = \frac{(705 + 450) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} = 2832,64 \text{ N}$$

$$T'_1 = \frac{(705) \cdot 9,81}{1} \cdot \frac{1}{4} = 1729,01 \text{ N}$$

$$T_2 = 0,273 \cdot 9,81 \cdot 18 = 48,21 \text{ N}$$

Introduciendo todos los valores en la fórmula (3.54) y despejando de ella el coeficiente de rozamiento, se obtienen los valores de éste para la situación de cabina con carga nominal ( $f$ ) y sin ella ( $f'$ ):

$$f \leq \frac{\ln \frac{2832,64}{48,21}}{2,62} = 1,55$$

$$f' \leq \frac{\ln \frac{1729,01}{48,21}}{2,62} = 1,37$$

Contemplando los resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento para las dos situaciones de carga, se llega a la conclusión de que el valor limitante es el obtenido para la cabina sin carga nominal. Por lo tanto, cuando la cabina se encuentre descargada

y situada en la parte superior del hueco del ascensor, con el contrapeso descansando sobre los amortiguadores y la máquina girando en sentido de subida, el coeficiente de rozamiento que debe existir para que se produzca deslizamiento entre los cables y la garganta de la polea tractora, y de esta manera evitar que la cabina pueda seguir ascendiendo, debe ser menor o igual a 1,37.

Una vez obtenido el coeficiente de rozamiento para cada una de las tres condiciones, se va a llevar a cabo el cálculo de este coeficiente para las mismas tres condiciones, pero teniendo en cuenta ahora el perfil de garganta (semicircular o trapezoidal) y las características constructivas que posee la polea de tracción.

Las poleas de tracción seleccionadas para este proyecto pertenecen al fabricante MP Ascensores [16], las cuales presentan tres perfiles de garganta diferentes, semicircular desfondada, trapezoidal en V sin desfondar y trapezoidal en V desfondada, cuyas características se muestran en el Anexo D. Para su elección se ha tenido en cuenta que la Norma EN 81-1 establece que la relación entre el diámetro de las poleas de tracción y el diámetro nominal de los cables de suspensión debe ser de al menos 40, y además, que el diámetro nominal de los cables debe ser como mínimo de 8 mm, dando como resultado un diámetro mínimo de la polea de 320 mm.

Los diámetros de polea que ofrece este fabricante son 400, 480 y 600 mm, de los cuales sólo los dos primeros son los elegidos para ser mostrados en la aplicación DISAE 1.0, ya que en esta aplicación el cable de mayor diámetro permitido es de 12 mm. Además, aunque el catálogo mostrado en el Anexo D presenta algunas características de la máquina tractora en la que se acoplan estas poleas, cabe decir que su diseño no forma parte del presente proyecto.

Antes de comenzar con el desarrollo de los cálculos es necesario elegir un perfil de garganta de los tres que ofrece el fabricante. En este caso se ha decidido seleccionar una garganta semicircular desfondada, ya que es el perfil de garganta que más se emplea en ascensores debido a su aceptable adherencia y a la elevada duración de cable y garganta que presenta.

También es necesario comprobar si la polea elegida es capaz de albergar el número de cables que son necesarios para la sustentación de cabina y contrapeso, y que han sido calculados en el apartado 3.4. En este caso se ha seleccionado un diámetro de polea de 400 mm, ya que el diámetro de los cables diseñados es de 9 mm, y el único ancho de polea posible que es de 100 mm. Teniendo en cuenta que el número máximo de cables que puede alojar esta polea es de seis, según el Anexo D, y que la cantidad de cables necesarios para realizar la suspensión es cuatro, se puede concluir que la polea seleccionada es capaz de acoger ese número de cables con un paso igual a 21 mm.

El coeficiente de rozamiento para una polea con un perfil de garganta semicircular desfondado, viene determinado por la expresión:

$$f = \mu \cdot \frac{4 \cdot \left( \cos \frac{\gamma}{2} - \sin \frac{\beta}{2} \right)}{\pi - \beta - \gamma - \sin \beta + \sin \gamma} \quad (3.58)$$

donde:

- $\mu$  es el coeficiente de fricción;
- $\gamma$  es el valor del ángulo de la garganta, según el Anexo D ( $30^\circ = 0,52 \text{ rad}^{(*)}$ );
- $\beta$  es el valor del ángulo de desfondado, según el Anexo D ( $95^\circ = 1,66 \text{ rad}^{(*)}$ ).

El valor de la variable  $\mu$  varía en función de la condición en la que se esté. Para la condición de carga en cabina  $\mu$  es igual a 0,1, para la de cabina retenida su valor es 0,2, mientras que para la condición de frenado de emergencia el valor de  $\mu$  queda determinado por la ecuación:

$$\mu = \frac{0,1}{1 + \frac{v}{10}} \quad (3.59)$$

donde:

- $v$  es la velocidad de los cables teniendo en cuenta la relación de suspensión, es decir, el producto de la velocidad nominal de la cabina (1 m/s) por el factor de suspensión (1).

Sustituyendo el valor de  $v$  en (3.59):

$$\mu = \frac{0,1}{1 + \frac{1 \cdot 1}{10}} = 0,09$$

Los datos de las variables  $\gamma$  y  $\beta$  han sido obtenidos del Anexo D, en el que se especifica que para gargantas semicirculares desfondadas el valor de  $\gamma$  debe estar comprendido entre  $25^\circ$  y  $40^\circ$ , y el de  $\beta$  entre  $85^\circ$  y  $106^\circ$ .

Sustituyendo todos los datos en la expresión (3.58) para cada una de las tres condiciones, se tienen los valores de  $f$ :

- Para condición de carga en cabina:

$$f = 0,1 \cdot \frac{4 \cdot \left( \cos \frac{30}{2} - \sin \frac{95}{2} \right)}{\pi - 1,66 - 0,52 - \sin 95 + \sin 30} = 0,20$$

- Para condición de frenado de emergencia:

$$f = 0,09 \cdot \frac{4 \cdot \left( \cos \frac{30}{2} - \sin \frac{95}{2} \right)}{\pi - 1,66 - 0,52 - \sin 95 + \sin 30} = 0,18$$

- Para condición de cabina retenida:

$$f = 0,2 \cdot \frac{4 \cdot \left( \cos \frac{30}{2} - \sin \frac{95}{2} \right)}{\pi - 1,66 - 0,52 - \sin 95 + \sin 30} = 0,39$$

Comparando estos resultados con los valores limitantes o admisibles obtenidos mediante las ecuaciones (3.44) y (3.54), tal y como se muestra en la Tabla 3.4, se comprueba que para cada una de las tres condiciones el valor del coeficiente de rozamiento, para una garganta semicircular desfondada, se encuentra dentro del límite establecido por dichas ecuaciones.

*Tabla 3.4 Comparación de los valores del coeficiente de rozamiento.*

| Condición                    | f admisible | f para garganta semicircular desfondada |
|------------------------------|-------------|---|
| <b>Carga en cabina</b>       | $\geq 0,12$ | 0,20                                    |
| <b>Frenado de emergencia</b> | $\geq 0,11$ | 0,18                                    |
| <b>Cabina retenida</b>       | $\leq 1,37$ | 0,39                                    |

Por tanto, en vista de que las comprobaciones realizadas para cada una de las condiciones han resultado correctas, se puede concluir que la polea seleccionada, polea de 400 mm diámetro, 100 mm de ancho y 21 mm de paso, con un perfil de garganta semicircular y desfondado, y con ángulos de garganta y desfondado de 30° y 95° respectivamente, es la polea idónea para la configuración de ascensor que se ha ido realizando a lo largo de los apartados 3.3, 3.4 y 3.5, ya que cumple todos los requisitos establecidos por la Norma EN 81-1.

# Capítulo 4

## *Software* empleado

---

### 4.1 MATLAB

El programa informático que sirve de soporte para el desarrollo de la parte práctica del presente proyecto, y por tanto de la aplicación DISAE 1.0, es MATLAB en su versión R2011b [17]. Este *software*, cuyas siglas en inglés provienen de *MATrix LABoratory* (laboratorio de matrices), es un entorno de programación basado en matrices, ampliamente utilizado en el ámbito de la ingeniería por su versatilidad en la resolución de cálculos numéricos sin importar la complejidad de los mismos, y también, por permitir visualizar los resultados fácilmente y de distintas formas.

Mediante este programa, que es a la vez un lenguaje de programación de alto nivel y un entorno interactivo para el cálculo numérico, la visualización y la programación, es posible analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos o aplicaciones. El lenguaje, las herramientas y las funciones matemáticas incorporadas en él permiten explorar diversos enfoques y llegar a una solución antes que con lenguajes de programación tradicionales, como pueden ser C/C++ o Fortran.

MATLAB dispone, además de un código básico, de varias librerías especializadas (*toolboxes*) que agrupan funciones diseñadas para la resolución de problemas específicos.

Las formas de trabajar con MATLAB son dos, por un lado está el trabajo interactivo, donde el usuario escribe una operación en la ventana de comandos y el programa la ejecuta, y por el otro, se encuentra el trabajo programado, donde el usuario

genera uno o varios ficheros \*.m con secuencias de instrucciones en lenguaje de MATLAB, que se pueden ejecutar repetidas veces y con distintos datos desde el modo interactivo, de esta forma el usuario puede incrementar las funciones disponibles en MATLAB añadiendo las suyas propias.

Las principales características que presenta este *software* son:

- Lenguaje de alto nivel para el cálculo numérico, la visualización y el desarrollo de aplicaciones.
- Entorno interactivo para la iterativa exploración, el diseño y la solución de problemas.
- Funciones matemáticas para álgebra lineal, estadística, análisis de Fourier, filtrado, optimización, integración numérica y resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias.
- Gráficos 2-D y 3-D integrados para visualizar datos y herramientas para crear gráficos personalizados.
- Herramientas de desarrollo para mejorar la calidad y el mantenimiento del código, así como para maximizar el rendimiento.
- Herramientas para crear aplicaciones con interfaces gráficas personalizadas.
- Funciones para integrar algoritmos basados en MATLAB con aplicaciones y lenguajes externos como C, C++, Fortran, Java, .NET y Microsoft Excel.

La pantalla que muestra el programa MATLAB al iniciarse está formada cuatro ventanas, además de la barra de herramientas superior, tal y como se puede observar en la Figura 4.1. A la izquierda de la pantalla aparece la ventana en la que se muestran las carpetas y ficheros del directorio activo o actual (*Current Folder*), desde el cual se pueden abrir archivos, moverlos, renombrarlos, ejecutarlos, etc. Al seleccionar un archivo con extensión \*.m se abre el editor de texto de MATLAB que es la herramienta fundamental para la programación, ya que proporciona una interfaz gráfica donde editar el texto y depurar el código de MATLAB, almacenándose en él las secuencias de instrucciones que son ejecutadas una por una al hacerlo el archivo \*.m, lo que posibilita que se creen programas y funciones capaces de cumplir tareas específicas.

En la zona central se encuentra la ventana de comandos (*Command Window*) que es donde se introducen las variables y se ejecutan las funciones y las secuencias de comandos de MATLAB, haciéndolo a continuación del aviso (*prompt*) característico (>>) que indica que el programa está preparado para recibir instrucciones, y en donde también se muestran los resultados. Además, escribiendo en esta pantalla la instrucción *help* (ayuda) seguida del nombre de una función predefinida, el programa proporciona información sobre su uso.

A su derecha se sitúa la ventana que contiene información sobre todas las variables que se hayan definido durante la sesión de MATLAB (*Workspace*), ya sea por el uso o ejecución de funciones y archivos de comandos o por la carga de variables

guardadas, permitiendo ver y modificar los valores de los elementos con los que se esté trabajando. Las variables no persisten en esta ventana cuando se cierra la sesión de MATLAB, aunque sí pueden ser guardadas para su uso en futuras sesiones, almacenándose en un archivo con extensión \*.mat.

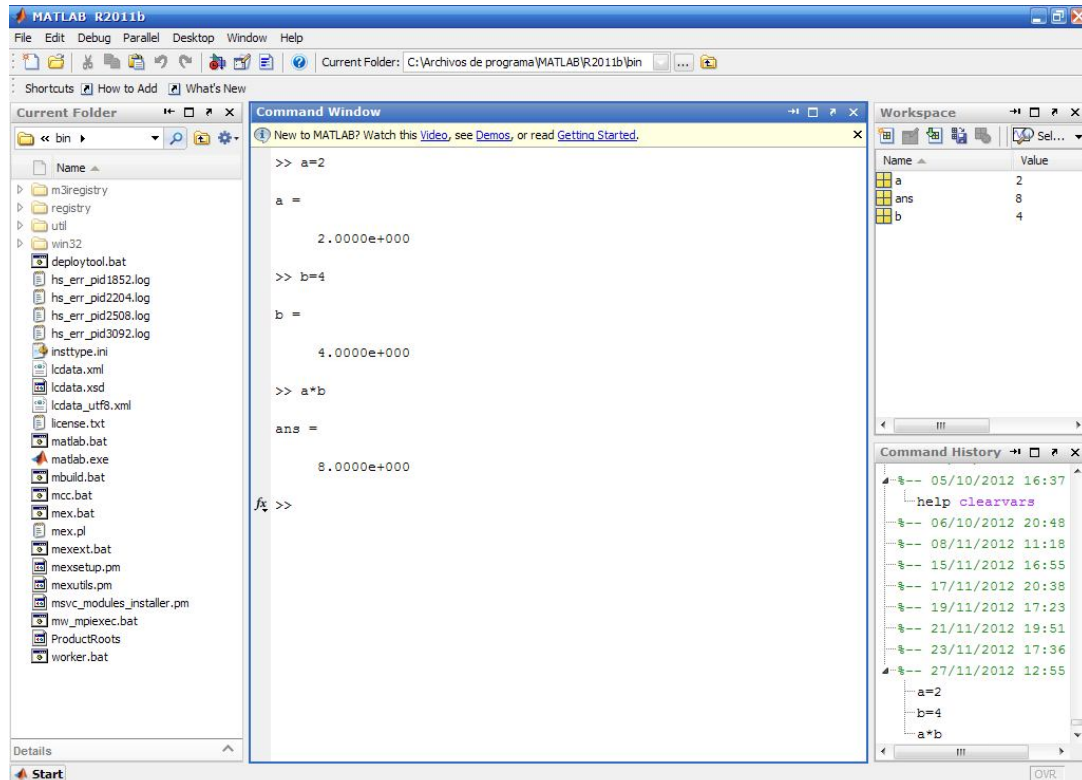


Figura 4.1 Pantalla inicial del programa MATLAB R2011b.

Para finalizar, la ventana del historial de comandos (*Command History*) muestra los comandos ejecutados en la ventana central con una marca de tiempo, los cuales pueden volver a ejecutarse haciendo doble clic sobre ellos [18] y [19].

## 4.2 GUIDE

Entre las muchas y variadas características que presenta el programa MATLAB destaca la de poder crear aplicaciones con interfaces gráficas personalizadas mediante la herramienta GUIDE, que es el medio gracias al cual ha sido posible llevar a cabo la construcción y el desarrollo de la aplicación DISAE 1.0.

En primer lugar, una interfaz gráfica de usuario, cuyas siglas en inglés son GUI (*Graphical User Interface*), es una representación gráfica de una o varias ventanas que contienen controles, denominados componentes, que permiten a un usuario realizar tareas interactivas. El usuario de la interfaz gráfica no tiene que crear una secuencia de comandos o escribir estos en la línea de comandos para realizar las tareas. Además, a diferencia de los programas para realizar tareas de codificación, el usuario de una interfaz no necesita comprender los detalles de cómo se realizan las tareas.

Entre los componentes que pueden incluir estas interfaces se encuentran menús, pulsadores, botones seleccionadores, textos editables, desplegables, etc. Las interfaces de usuario creadas mediante las herramientas de MATLAB pueden realizar cualquier tipo de cálculo, leer y escribir archivos de datos, comunicarse con otras interfaces y mostrar datos en tablas o gráficos.

La forma de trabajar de la mayoría de las interfaces gráficas es esperar hasta que el usuario manipule un control y después responder a cada acción en su turno. Cada control, y la propia GUI, tienen una o más rutinas escritas (código ejecutable de MATLAB) conocidas como devoluciones de llamadas (*callbacks*), denominadas así por el hecho de que “llaman hacia atrás” a MATLAB para preguntarle qué cosas hacer. La ejecución de cada llamada se activa por una acción particular del usuario como pulsar un botón de la pantalla o introducir un valor numérico, produciéndose a continuación la respuesta de la GUI a esos eventos. El creador de la interfaz debe proporcionar llamadas que definan que hacen los componentes para controlar los eventos.

Existen dos formas de desarrollar interfaces gráficas de usuario en MATLAB, la primera de ellas es haciendo uso de la herramienta GUIDE, cuyas siglas en inglés proceden de *GUI Development Environment* (entorno de desarrollo de la GUI), que es un kit de construcción interactivo de interfaces, el cual simplifica en gran medida el proceso de diseño y programación de éstas. Esto es debido a que esta herramienta muestra de inicio una figura o pantalla en la cual se pueden insertar los componentes que aparecen en su editor de diseño gráfico. Además, crea un archivo de código asociado a la figura que contiene las llamadas a la GUI y a sus componentes, guardando por separado el archivo de código (\*.m) del de la figura (\*.fig). Para el diseño y programación de la GUI del presente proyecto se va a hacer uso esta herramienta.

La segunda forma es mediante la creación de archivos de código, formados por funciones o secuencias de comandos, en los que se definen todas las propiedades y comportamientos de los componentes que se desea que aparezcan en la interfaz cuando el usuario ejecute el archivo, creándose en ese momento una figura con los componentes programados y que es manejada por las interacciones del usuario. En definitiva, esta opción se basa en la programación de la GUI desde el inicio, indicando explícitamente todas las propiedades de la figura y de sus controles, así como las llamadas, y guardándose todo en el mismo archivo de código \*.m. Mientras que en la primera, la mayoría de las propiedades están dentro de la propia figura (\*.fig), almacenando las llamadas y otras funciones que inicializan la GUI al abrirse en el archivo \*.m.

El entorno de desarrollo de las interfaces gráficas de usuario o GUIDE está constituido por una pantalla en la que aparece una barra de herramientas, una paleta con componentes y una zona de diseño cuadriculada, tal y como se observa en la Figura 4.2, además de una barra de menús con las funciones elementales de edición en la parte superior, propia de cualquier programa o aplicación. También forma parte de este entorno el editor de código asociado a la GUI.



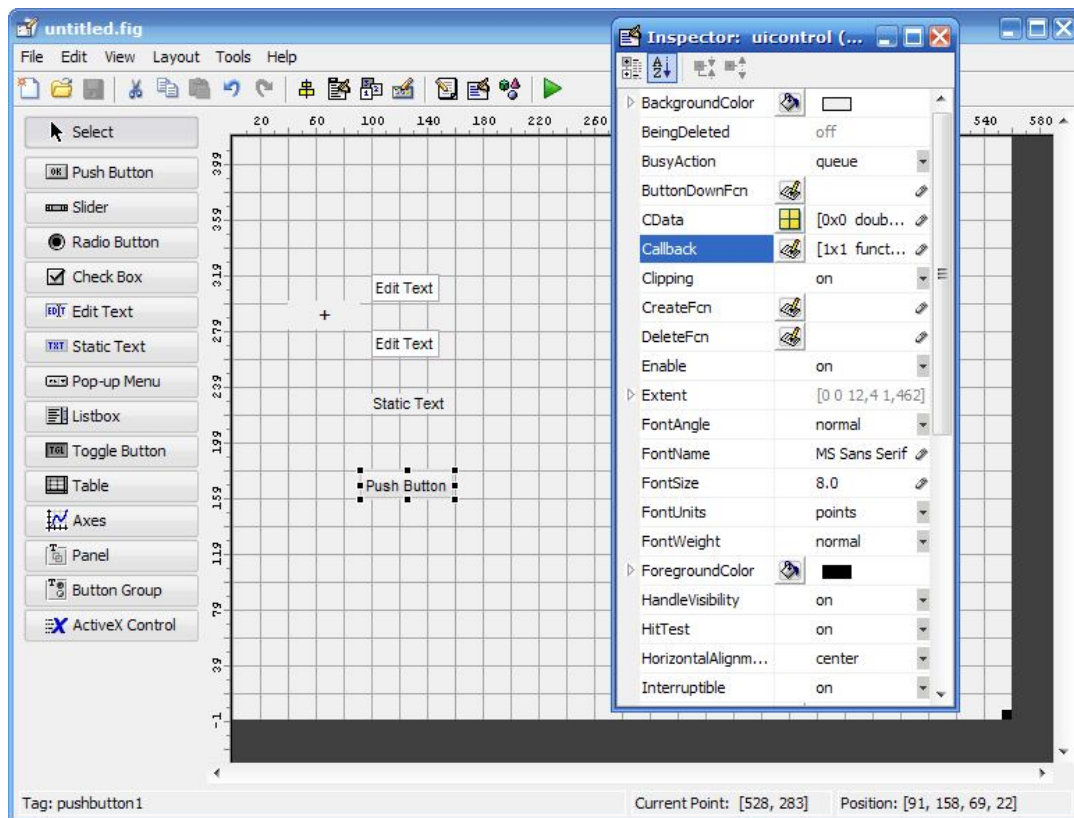


Figura 4.2 Pantalla del editor de diseño de GUIDE.

La barra de herramientas situada en la zona superior de la pantalla muestra las herramientas disponibles para el editor de diseño, además de los típicos iconos de crear una figura nueva, abrir un archivo, volver atrás, etc., encontrándose las primeras de ellas descritas en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Herramientas disponibles en el editor de diseño de GUIDE [20].

|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | Alinear y distribuir objetos.           |  | Editor del archivo *.m, código asociado a la GUI.              |
|  | Editor de menú. Crear menús emergentes. |  | Inspector de propiedades de los componentes de la GUI.         |
|  | Editor de la orden de tabulación.       |  | Examinador de objetos. Lista jerárquica de los objetos de GUI. |
|  | Editor de barra de herramientas.        |  | Guardar y ejecutar la GUI.                                     |

En la parte izquierda de la ventana se encuentra la paleta de componentes, siendo éstos los empleados para ir configurando la apariencia de la GUI en función de las necesidades requeridas. La forma de insertarlos en el área de diseño es seleccionándolos y arrastrándolos dentro dicha área. En la Tabla 4.2 aparece una breve descripción de la principal utilidad que presentan cada uno de los componentes.

Tabla 4.2 Descripción de los componentes disponibles en el editor de diseño de GUIDE [20].

| Componentes            | Iconos  | Descripciones  |
|------------------------|---|--|
| <i>Select</i>          |    | Permite seleccionar cualquier objeto del área de diseño.   |
| <i>Push Button</i>     |    | Pulsador que genera una acción al hacer clic sobre él. Al dejar de pulsar vuelve a su posición inicial.  |
| <i>Slider</i>          |    | Barra de desplazamiento que permite seleccionar un valor dentro de un rango especificado.  |
| <i>Radio Button</i>    |    | Botón similar al <i>Check Box</i> , pero que agrupado con otros botones forma un grupo mutuamente excluyente.  |
| <i>Check Box</i>       |    | Casilla de verificación empleada para generar una acción cuando se selecciona o deselecciona.  |
| <i>Edit Text</i>       |    | Texto editable que habilita al usuario a introducir o modificar cadenas de texto.  |
| <i>Static Text</i>     |    | Texto estático utilizado para etiquetar otros componentes o proporcionar instrucciones al usuario.   |
| <i>Pop-up Menu</i>     |    | Menú desplegable que sirve para mostrar una lista de opciones.   |
| <i>Listbox</i>         |    | Cuadro de lista que muestra una lista de elementos pudiendo seleccionarse uno o varios de ellos.   |
| <i>Toggle Button</i>   |   | Botón alternativo que genera una acción e indica si está en <i>on</i> o en <i>off</i> . Este botón no vuelve a su posición inicial al dejar de pulsarlo. |
| <i>Table</i>           |  | Tabla que posibilita la creación de tablas.  |
| <i>Axes</i>            |  | Ejes que permiten que en la GUI se muestren gráficos e imágenes.   |
| <i>Panel</i>           |  | Panel que facilita la organización de los componentes de la GUI en grupos.   |
| <i>Button Group</i>    |  | Grupo de botones similar a panel, pero usados para administrar el comportamiento de selección exclusiva de <i>Radio Button</i> y <i>Toggle Button</i> .  |
| <i>ActiveX Control</i> |  | <i>ActiveX</i> posibilita mostrar controles <i>ActiveX</i> en la GUI.  |

La zona central que aparece en la ventana es el área de diseño, lugar en el cual se lleva a cabo la elaboración de la parte gráfica y visual de la GUI. El tamaño de esta área puede ser modificado en función de las necesidades del diseñador, simplemente arrastrando su esquina inferior derecha. Además, permite el uso de rejilla o cuadrícula para facilitar la colocación de los distintos componentes en cualquier posición de ella.

Bajo el área de diseño se encuentra una barra de información formada por tres componentes, el primero de ellos muestra la característica *Tag*, que indica el nombre con el que MATLAB se refiere al componente seleccionado en el código. A su lado está *Current Point* que muestra la posición del cursor del ratón. Y por último, *Position* que indica la posición del componente seleccionado en el área de diseño.

Cada uno de los componentes que aparecen en la GUI, incluida la figura sobre la que se disponen todos ellos, poseen un conjunto de propiedades a las cuales se puede acceder abriendo el *Property Inspector* (inspector de propiedades), como se ve en la Figura 4.2, permitiendo la personalización de cada uno de los elementos. Entre todas las propiedades que aparecen se han destacado las siguientes:

- ***BackgroundColor***: modifica el color del rectángulo del componente.
- ***ButtonDownFcn***: llamada que se ejecuta cuando el usuario presiona un componente que es actuable, como por ejemplo que se muestre una imagen cuando se pulse un texto editable para introducir un valor en él.
- ***Callback***: llamada que controla la acción de un componente.
- ***Enable***: habilita o deshabilita la utilización del componente.
- ***FontName, FontSize, ForegroundColor, FontWeight***: modifica el nombre, el tamaño y la apariencia de la fuente, y el color del texto que aparece en los componentes.
- ***Position***: muestra la posición del componente, así como sus dimensiones.
- ***String***: texto que aparece en los componentes.
- ***Tag***: etiqueta con la cual el componente aparece en el código de MATLAB y que puede ser cambiada por el diseñador de la GUI.
- ***Visible***: permite mostrar un componente o no mostrarlo, aunque exista en el editor.

Cuando la GUI creada mediante el editor de diseño se guarda por primera vez, haciéndolo en un archivo con extensión \*.fig que contiene una descripción completa del diseño de la GUI y de cada componente, GUIDE genera automáticamente un archivo con extensión \*.m con el código de MATLAB para controlar la forma de trabajar de la GUI. Este archivo, que se muestra en el editor de código, contiene el código para inicializar la GUI y las llamadas (*callbacks*) asociadas a los componentes de ésta. Las llamadas son funciones que se ejecutan en respuesta a eventos generados por el usuario, tales como pulsar un botón. Utilizando el editor de MATLAB se puede añadir código a las llamadas para que realicen las funciones que uno desee. También es posible añadir nuevas funciones para utilizar las llamadas.

Una muestra del editor de código donde tiene lugar la programación de las acciones que realizan algunos de los componentes al ser manipulados por el usuario, a través del ratón o del teclado, aparece en la Figura 4.3, siendo éste el código de la GUI mostrada en la Figura 4.2.

Las principales partes que presenta el editor de código son la zona de inicialización de tareas de la GUI, cuyo código no debe ser modificado, las llamadas de las funciones de apertura (*opening function*), que realiza las tareas de inicialización programadas por el diseñador de la GUI antes de que el usuario tenga acceso a la interfaz, como por ejemplo centrar la pantalla o mostrar una imagen, y de cierre (*output function*), y todas las llamadas de los componentes (Figura 4.3) y figuras que aparecen en la GUI, de las que inicialmente se muestra una plantilla, pero que es el diseñador el que debe programar el código que desea que realicen al ser llamadas. Además, dentro de las propias llamadas y funciones aparecen comentarios que son útiles a la hora de realizar la programación [20].

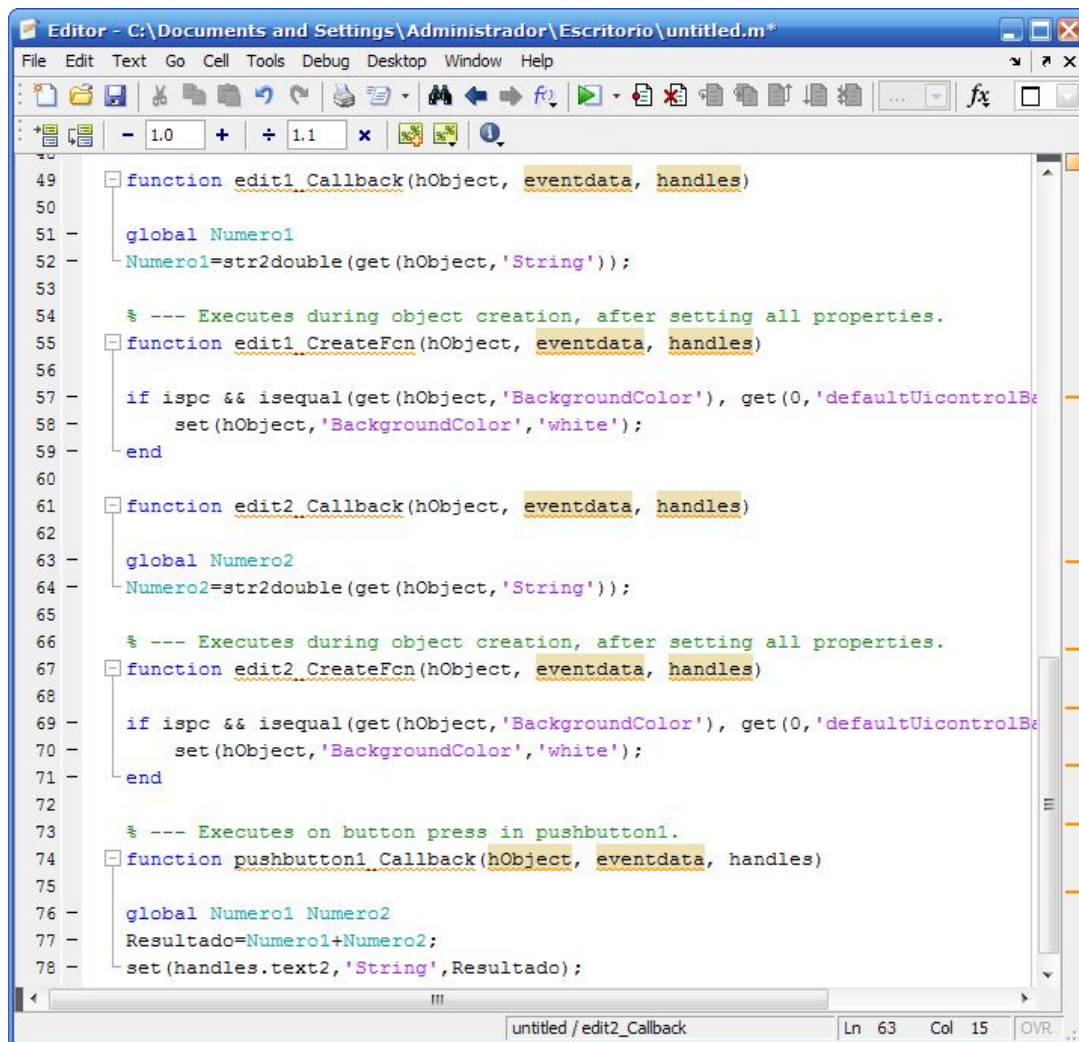


Figura 4.3 Pantalla del editor de código de GUIDE.

Entre las sentencias de programación más básicas y utilizadas se encuentran las de obtención (comando *get*) y asignación de valores (*set*) a los componentes de la GUI, tal y como se muestra bajo estas líneas, así como las condicionales (*if*) y las repetitivas (*while* o *for*):

```
Numero1=str2double(get(hObject,'String'));  
  
set(handles.text2,'String',Resultado);
```

Para concluir con la descripción del *software* empleado, la Figura 4.4 refleja el aspecto que presenta la GUI al ser ejecutada, en la que insertando dos valores numéricos y presionando el pulsador se obtiene como resultado la suma de éstos.

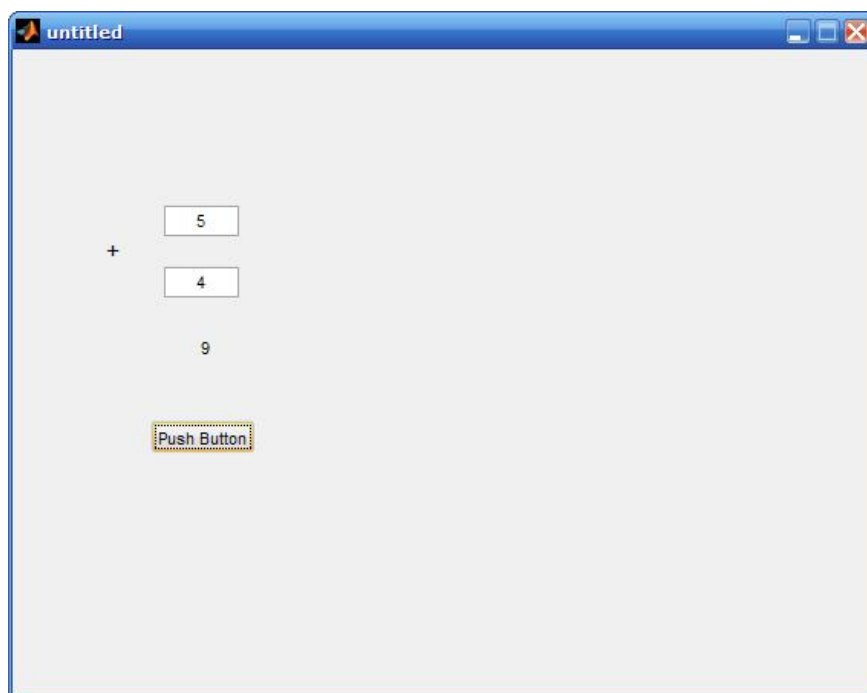


Figura 4.4 Pantalla de la GUI ejecutada.

# Capítulo 5

## Aplicación DISAE 1.0

---

### 5.1 Diseño y construcción

Antes de llevar a cabo la construcción de las distintas interfaces gráficas que forman parte de la aplicación DISAE 1.0, cuyas siglas provienen de DISEño de Ascensores Eléctricos, es necesario tener en cuenta una serie de cuestiones, como qué tipo de usuario va a trabajar con ella, qué es lo que se quiere que realice la interfaz, cómo va a interaccionar el usuario con ella o qué componentes son necesarios en la interfaz para que ésta realice su función.

El objetivo principal que se persigue con la creación de la aplicación DISAE 1.0 es el de servir como una herramienta de cálculo, rápida y sencilla, para el diseño de ciertos elementos de un ascensor eléctrico, cumpliendo en todo momento la normativa europea aplicable a este tipo de máquinas. El principal tipo de usuario al que va dirigida esta aplicación son profesionales del sector del ascensor, ingenieros o estudiantes de ingeniería, aunque su diseño, sencillo e intuitivo, permite que pueda ser utilizado por casi cualquier tipo de usuario.

El primer paso para su elaboración es decidir cuáles van a ser los elementos del ascensor que se quieren diseñar mediante la aplicación DISAE 1.0, en este caso, se han elegido las guías de deslizamiento, tanto de la cabina como del contrapeso, los cables de suspensión y la polea de tracción, tal y como se indica en el Capítulo 3.

Acto seguido, es necesario determinar cuáles van a ser los datos de entrada que tiene que introducir el usuario y que sirven para llevar a cabo el cálculo de cada uno de



los elementos, como por ejemplo la masa de la cabina, la carga nominal, la velocidad nominal del ascensor o la altura del recorrido que realiza éste. También, cuáles van a ser los datos de salida más interesantes para el usuario, ya que éstos le van a servir para comparar con los valores admisibles y decidir si el elemento diseñado es o no válido.

Por otra parte, es preciso valorar la introducción de ayudas gráficas y visuales para facilitar las tareas de captación de datos, interacción con la GUI y muestra de resultados, como por ejemplo con el uso de imágenes acotadas o sobre pulsadores, indicaciones de resultado correcto o incorrecto, tablas de valores o inhabilitaciones de pulsadores. También, cuál va a ser el comportamiento que tenga cada una de las GUI, es decir, si la interfaz va a servir para seleccionar elementos, introducir datos o mostrar resultados, cuáles van a ser las secuencias de paso de una interfaz a otra y qué componentes van a ser necesarios para poder interaccionar entre ellas.

Una vez realizado estas consideraciones se procede a la construcción de cada una de las GUI por medio de la herramienta GUIDE de MATLAB, llevando a cabo en primer lugar el diseño gráfico de las mismas y posteriormente la programación de cada uno de los componentes que figuran en ellas.

Para el diseño de la parte gráfica de las GUI se ha consultado la interfaz creada por María Soledad Arana López-Abad en su proyecto fin de carrera [21], llamada AUTOMATH, y se ha tomado como ejemplo la interfaz de la que dispone el fabricante de guías Savera para realizar la elección de sus guías [22], denominada Savera Ride Software.

La mayoría de las imágenes empleadas en las GUI han sido obtenidas de las referencias [9], [15], [16] y [22], teniendo que ser adaptado su tamaño, mediante el programa Photoshop CS4 [23], para que la calidad de las imágenes se mantuviera al ser mostradas en un espacio inferior o superior a éstas. Otra gran parte de las imágenes han sido creadas por el propio diseñador de las interfaces a través del programa AutoCAD 2004 [24], debido a que no ha sido posible localizar las imágenes requeridas o a que se encontraban en estado de degradación. Por otro lado, se encuentran las imágenes que han sido obtenidas de las anteriores referencias, pero que han tenido que ser modificadas para adaptarlas a las necesidades de cada interfaz. Y en último lugar, se encuentran las tablas creadas por el propio diseñador, para las que se han tenido en cuenta las referencias anteriores.

En cuanto al tamaño, forma, color y disposición de los botones, pulsadores, textos estáticos y editables, ventanas de las GUI, etc., se ha realizado de manera que resulte agradable a la vista y fácil de entender, con indicaciones sobre lo que se debe hacer en cada interfaz y cuál es la función de cada uno de los componentes que aparecen en ellas.

Para la programación del código asociado a cada una de las GUI se han consultado las referencias [19], [20], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32] y [33], y se ha hecho uso de la ayuda que proporciona el programa MATLAB, al escribir en su ventana de comandos la instrucción *help* (ayuda) seguida del nombre de la función de la que se desea conocer su funcionalidad y modo de uso o aplicación.

Entre estas referencias se encuentran las que indican cómo se realizan en MATLAB las operaciones matemáticas, cómo se muestran sus resultados o para qué sirven algunas de las funciones, también están las que muestran algunos ejemplos de programación de aplicaciones sencillas, en las que se dan pequeñas nociones sobre cómo programar algunos de los componentes que ofrece la herramienta GUIDE, y por último, se encuentran las que hacen referencia a foros de páginas web de los que se ha podido obtener numerosa información sobre lo anteriormente expuesto y sobre otras cuestiones, desde cómo solucionar algún error en el código que impide la correcta ejecución de la interfaz hasta cómo llevar a cabo el centrado de una GUI en la pantalla del ordenador.

El código programado en cada una de las GUI depende del diseño y funcionalidad que se le quiera dar a cada interfaz, siendo éste más o menos extenso en función del número de sentencias programadas, y por tanto, de operaciones que puede realizar esa interfaz. Las sentencias de comandos más comunes en el presente proyecto son las de adquisición y muestra de datos, paso de una interfaz a otra o muestra de imágenes.

Las GUI que tienen por función mostrar resultados finales después de haber llevado a cabo un proceso de selección e introducción de datos, presentan entre sus líneas de comandos los cálculos mostrados en el Capítulo 3 adaptados al lenguaje de programación de MATLAB. Además, en todos los archivos de código de cada GUI se indica prácticamente sentencia por sentencia cuál es la finalidad de éstas, para que en el caso de ser necesario introducir alguna modificación el propio diseñador recuerde su función y pueda actuar en consecuencia, y también para facilitar la tarea a otros programadores que deseen visualizar el funcionamiento interno de la aplicación DISAE 1.0.

Una vez finalizado el proceso de diseño y programación de las distintas interfaces, durante el cual se han ido realizando comprobaciones de su funcionamiento y corrigiendo sus fallos y errores de manera iterativa, es el momento de evaluar y comparar los resultados obtenidos mediante la aplicación DISAE 1.0 con los calculados de forma manual en el Capítulo 3, y de esta manera comprobar la efectividad de la aplicación creada, comprobación que tiene lugar en el Capítulo 6 del presente proyecto.



## 5.2 Interfaces creadas

En este apartado, se procede a realizar una breve descripción de cada una de las GUI que presenta la aplicación DISAE 1.0, teniendo a la vez como finalidad la de explicar todas las posibilidades y mostrar el potencial real que presentan estas interfaces, y que de otro modo, dependiendo de los datos introducidos y de las selecciones realizadas, pueden pasar inadvertidas.

El número de GUI de las que dispone la aplicación DISAE 1.0 es de 25, estando asociado a cada una de ellas un archivo de código con el mismo nombre. Su explicación se va a realizar por orden de aparición en la aplicación, mostrándose a continuación con el nombre con el cual figuran en ésta:

- **Presentacion:** imagen de inicio de la aplicación en la que aparece el nombre, el autor y el propósito de la misma.
- **IntroDatComun:** interfaz creada para la introducción de los datos comunes a los tres elementos que van a ser diseñados, o como mínimo a dos de ellos.
- **SeleccElemento:** GUI en la que se muestra y se da paso a cada uno de los tres elementos que pueden ser diseñados mediante la aplicación, y en la que se ha establecido un orden de selección (guías, cables, polea) debido a que algunas de las características de los elementos anteriores repercuten en los posteriores. Al finalizar el diseño de los tres elementos correctamente se da la posibilidad de realizar un nuevo diseño de ascensor o de salir de la aplicación.
- **SeleccConfig:** en ella se permite seleccionar, en primer lugar, una configuración para las guías de la cabina de entre las cinco disponibles, y una vez realizado el cálculo correcto de éstas se permite llevar a cabo el de las guías del contrapeso.
- **IntroDatosG, IntroDatosC, IntroDatosD, IntroDatosV, IntroDatosP:** interfaces creadas para cada una de las configuraciones de guías de la cabina, donde se introducen los datos necesarios para realizar el cálculo de éstas.
- **SeleccGuia:** GUI creada para elegir el modelo de guía correcto para la cabina (de cualquiera de las configuraciones de ésta) de entre los cuatro posibles. En ella se orienta al usuario en todo momento, dando indicaciones sobre si queda por realizar algún caso de distribución carga, sobre si la guía elegida es o no correcta o sobre como proceder en caso de que la guía seleccionada no cumpla los requisitos establecidos por la Norma EN 81-1.
- **ResultCaso1, ResultCaso1\_2, ResultCaso2, ResultCaso2\_2, ResultCaso12\_3:** interfaces programadas para realizar el cálculo de las guías de la cabina (de cualquiera de las configuraciones de ésta) y mostrar sus resultados

para las tres situaciones de funcionamiento de un ascensor (actuación del paracaídas, utilización normal y carga) y para los dos casos de distribución de carga (Caso 1 y Caso 2). Además, se indica gráficamente si las comprobaciones llevadas a cabo en ellas son o no correctas.

- **IntroDatosCp:** GUI creada para la adquisición de los datos necesarios para realizar el cálculo de las guías del contrapeso.
- **SelecGuiaCp:** interfaz que permite seleccionar un modelo de guía para el contrapeso de entre los cuatro posibles, guiando al usuario durante este proceso al igual que lo hace SelecGuia.
- **ResultCp:** en ella tiene lugar el cálculo de las guías del contrapeso, mostrándose el resultado de las operaciones para la única situación prevista en él (utilización normal). Además, al igual que con las guías de la cabina, se indica gráficamente si las comprobaciones llevadas a cabo en ella son o no correctas.
- **SelecSusten:** GUI creada para la elección de un sistema de suspensión (1:1, 2:1, 3:1 ó 4:1) en función del uso principal que vaya a tener el ascensor que se está diseñando.
- **SelecConfigSusten:** interfaz que permite seleccionar una configuración de la suspensión u otra en función del sistema de suspensión elegido en SelecSusten. Aunque en el Anexo C figuran nueve configuraciones de la suspensión, para este proyecto se ha decidido no tener en cuenta las de tambor arrollado debido a que hoy en día prácticamente ya no se utilizan.
- **IntroDatSusten:** GUI creada para la introducción y selección de los datos necesarios para realizar el cálculo de los cables de suspensión. En ella también tiene lugar el cálculo de éstos y la muestra de sus resultados, guiando al usuario durante todo el proceso al igual que lo hace SelecGuia, e indicando gráficamente si las comprobaciones llevadas a cabo en ella son o no correctas.
- **IntroDatPolea:** interfaz creada para la introducción de los datos necesarios para realizar el cálculo de la polea de tracción.
- **SelecPolea:** permite, en primer lugar, seleccionar las dimensiones de la polea y comprobar su disponibilidad en el catálogo de poleas. En caso de no existencia se guía al usuario hacia la GUI IntroDatSusten, en donde éste deberá cambiar el número de cables y/o su diámetro y comprobar que éstos son válidos, para después volver a SelecPolea y revisar de nuevo su disponibilidad. En caso de que se seleccione una nueva configuración de la suspensión, tras la comprobación de la idoneidad de los cables, se pasa a la GUI IntroDatPolea, donde se debe introducir el nuevo valor o valores del ángulo de abrazamiento. Y

en segundo lugar, permite la selección de las características de la polea (tipo de garganta y sus ángulos), orientando al usuario en todo momento al igual que lo hace SelecGuia, e indicando gráficamente si las comprobaciones llevadas a cabo en ella son o no correctas.

- **ResultPolea:** interfaz en la que tiene lugar el cálculo de la polea de tracción, mostrándose el resultado de las operaciones para las tres condiciones de adherencia que debe cumplir la polea seleccionada. Además, se indica gráficamente si las comprobaciones llevadas a cabo en ella son o no correctas.
- **Salida:** imagen de salida de la aplicación.

### 5.3 Restricciones de uso

Las limitaciones que presenta la aplicación DISAE 1.0, y que ya han sido indicadas en el Capítulo 3 durante el desarrollo de los cálculos para el diseño de las guías, cables y polea, se recogen ahora en la Tabla 5.1 para que de esta forma quede constancia de que los resultados obtenidos mediante la aplicación creada sólo son válidos para los casos en que no se sobrepasen las restricciones.

*Tabla 5.1 Valores límite de las restricciones de uso de la aplicación DISAE 1.0.*

| Restricción de uso  | Valor límite  |
|---|---|
| <b>Velocidad nominal del ascensor</b>                           | $v \leq 1,6 \text{ m/s}$  |
| <b>Altura del recorrido del ascensor</b>                        | $H \leq 25 \text{ m}$   |
| <b>Masa sobre una guía debido al equipo auxiliar</b>            | No se consideran las masas del limitador de velocidad y partes asociadas, ni la de interruptores o equipos de posicionamiento |
| <b>Transporte de carretillas elevadoras</b>                     | No está permitido su transporte   |
| <b>Deceleración de frenado del ascensor para el caso normal</b> | $a \geq 0,5 \text{ m/s}^2$  |
| <b>Valores de los ángulos de desfondado y de la garganta.</b>   | Los indicados por el fabricante en el Anexo D   |

# Capítulo 6

## Resolución de un caso real mediante la aplicación DISAE 1.0

---

### 6.1 Pasos a seguir. Secuencias de la aplicación

La finalidad de este apartado es la de explicar paso por paso cuáles son las secuencias que deben seguirse para resolver un caso real mediante la aplicación DISAE 1.0. Para ello se va a hacer uso de todos los datos y consideraciones realizadas a lo largo del Capítulo 3, ya que los resultados obtenidos a través de la aplicación se van a comparar con los realizados en ese capítulo.

El primer paso consiste en abrir el *software* de MATLAB y su herramienta GUIDE, en la cual se selecciona el nombre de la GUI principal (Presentacion) con la que comienza la aplicación DISAE 1.0 y se ejecuta, apareciendo en la pantalla la imagen de la presentación (Figura 6.1).

Transcurrido un breve período de tiempo desaparece la imagen y surge la GUI IntroDatComun, en la que se introducen los valores mostrados en la Figura 6.2 y se pulsa el botón *Seleccionar elemento*.



Figura 6.1 Pantalla de la interfaz Presentacion de la aplicación DISAE 1.0.

**DISEÑO DE UN ASCENSOR ELÉCTRICO**

Introduzca el valor de los siguientes parámetros

|                          |     |     |
|--------------------------|-----|-----|
| Masa de la cabina (P)    | 705 | kg  |
| Carga nominal (Q)        | 450 | kg  |
| Velocidad nominal (v)    | 1   | m/s |
| Altura del recorrido (H) | 18  | m   |

Diagrama de un ascensor con altura  $H$  y la condición  $H \leq 25 \text{ m}$ .

**Seleccionar elemento**

Figura 6.2 Pantalla de la interfaz IntroDatComun.

Acto seguido se procede a seleccionar el elemento *Guías* de la interfaz *SelecElemento* (Figura 6.3), abriéndose la ventana *SelecConfig* (Figura 6.4). En ella se pulsa el botón *General*, en referencia a la configuración de cabina elegida para este caso, y aparece la GUI *IntroDatosG*, en la que se introducen los datos mostrados en la Figura 6.5 y se pulsa el botón *Seleccionar guía*.



Figura 6.3 Pantalla de la interfaz SelecElemento.

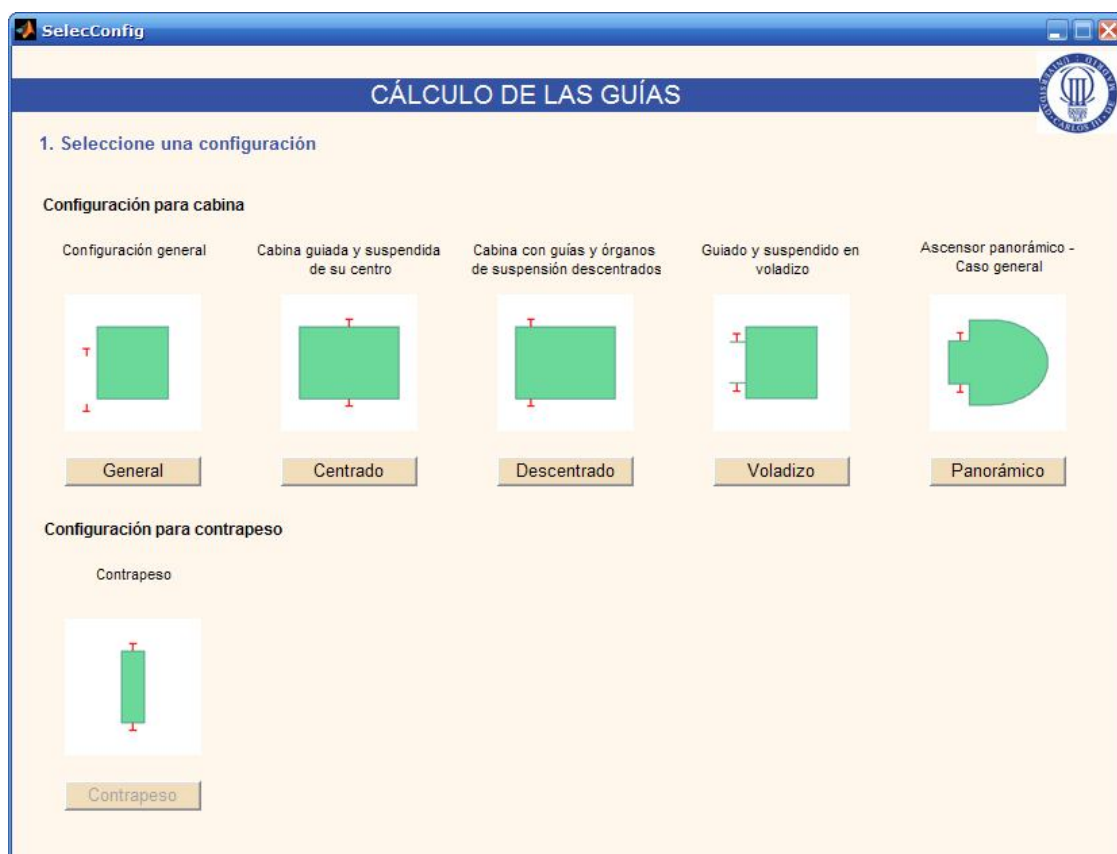


Figura 6.4 Pantalla de la interfaz SelecConfig.

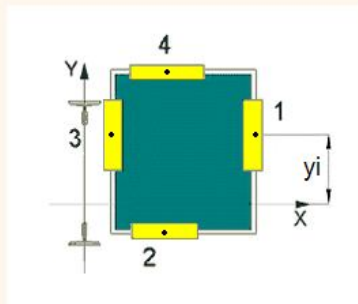


**IntroDatosG**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

2. Introduzca los siguientes datos para realizar el cálculo según UNE-EN 81-1

|   |                                    |     |
|---|------------------------------------|-----|
| Masa de la cabina (P)                             | 705                                | kg  |
| Carga nominal (Q)                                 | 450                                | kg  |
| Profundidad de la cabina según el eje X (Dx)      | 1.25                               | m   |
| Anchura de la cabina según el eje Y (Dy)          | 1                                  | m   |
| Velocidad nominal (v)                             | 1                                  | m/s |
| Tipo de paracaídas (en función de v)              | Instantáneo con efecto amortiguado |     |
| Masa sobre una guía debido al equipo auxiliar (m) | 5                                  | kg  |
| Distancia entre fijaciones de guía (l)            | 3                                  | m   |
| Distancia entre guías de cabina (h)               | 2.725                              | m   |
| Posición del centro de la cabina (xC)             | 0.635                              | m   |
| Posición del centro de la cabina (yC)             | 0.4                                | m   |
| Posición de la masa de la cabina (xP)             | 0.45                               | m   |
| Posición de la masa de la cabina (yP)             | 0.25                               | m   |
| Posición del centro de suspensión (xS)            | 0.4                                | m   |
| Posición del centro de suspensión (yS)            | 0.3                                | m   |
| Posición de la puerta de cabina (xi)              | 1.265                              | m   |
| Posición de la puerta de cabina (yi)              | 0.65                               | m   |



Seleccionar otra configuración

Seleccionar guía

Figura 6.5 Pantalla de la interfaz IntroDatosG.

Una vez abierta la ventana SelecGuia (Figura 6.6) se procede a elegir una guía de entre las cuatro posibles, en este caso T127-1/B, y se selecciona un caso de distribución de carga. Pulsando en *Caso 1* la aplicación DISAE 1.0 muestra los resultados del cálculo de las guías para el Caso 1 y para cada una de las situaciones de funcionamiento del ascensor en las GUI ResultCaso1, ResultCaso1\_2 y ResultCaso12\_3 (Figura 6.7, Figura 6.8 y Figura 6.9), volviendo de nuevo a la ventana SelecGuia (Figura 6.10) en la que se muestra que el Caso 1 se ha resuelto correctamente.

Acto seguido se pulsa el botón del caso que queda por calcular, *Caso 2*, y al igual que el anterior muestra sus resultados en las interfaces ResultCaso2, ResultCaso2\_2 y ResultCaso12\_3 (Figura 6.11, Figura 6.12 y Figura 6.9), siendo esta última la misma que para el Caso 1, ya que para la situación de utilización normal (carga) no se hace distinción entre casos de distribución de carga.

Regresando de nuevo a la ventana SelecGuia (Figura 6.13) se muestra que el Caso 2 se ha resuelto también correctamente, por tanto, la guía seleccionada inicialmente es la correcta, y el cálculo de las guías de la cabina ha terminado, permitiéndose la salida de la interfaz.

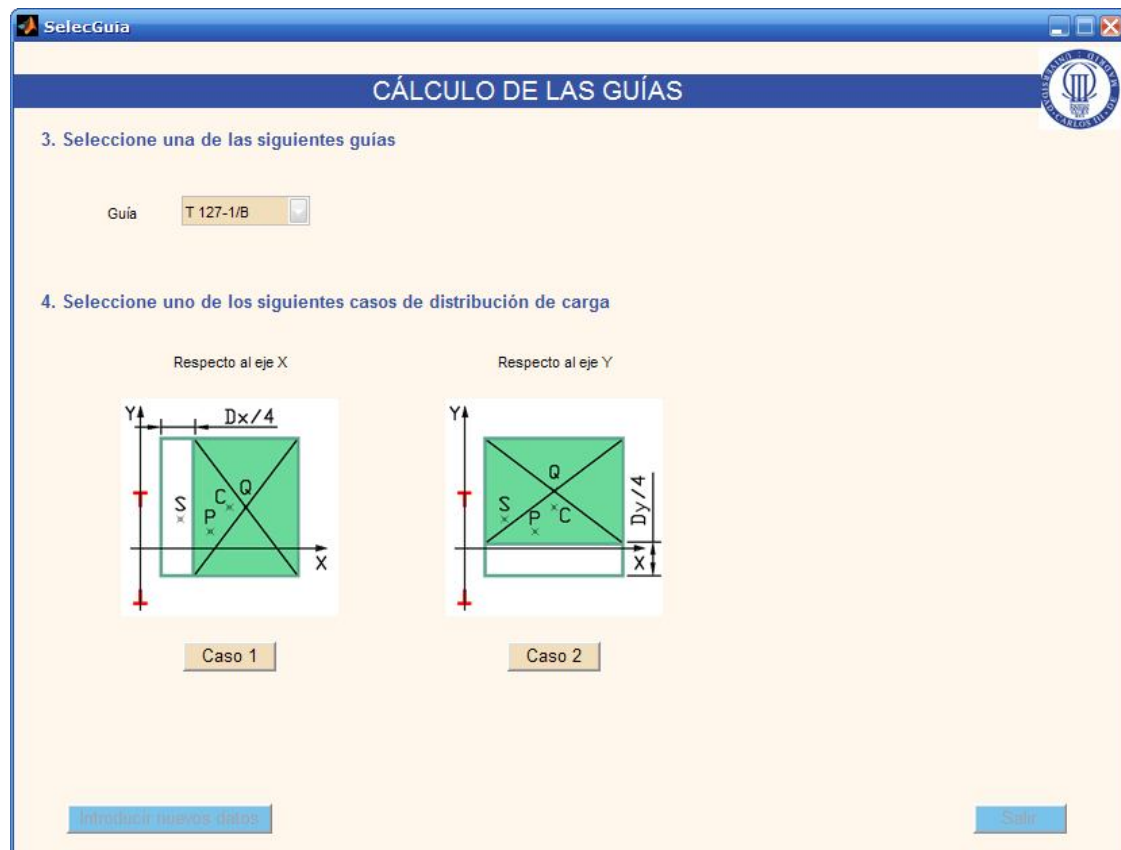


Figura 6.6 Pantalla de la interfaz SelecGuia.

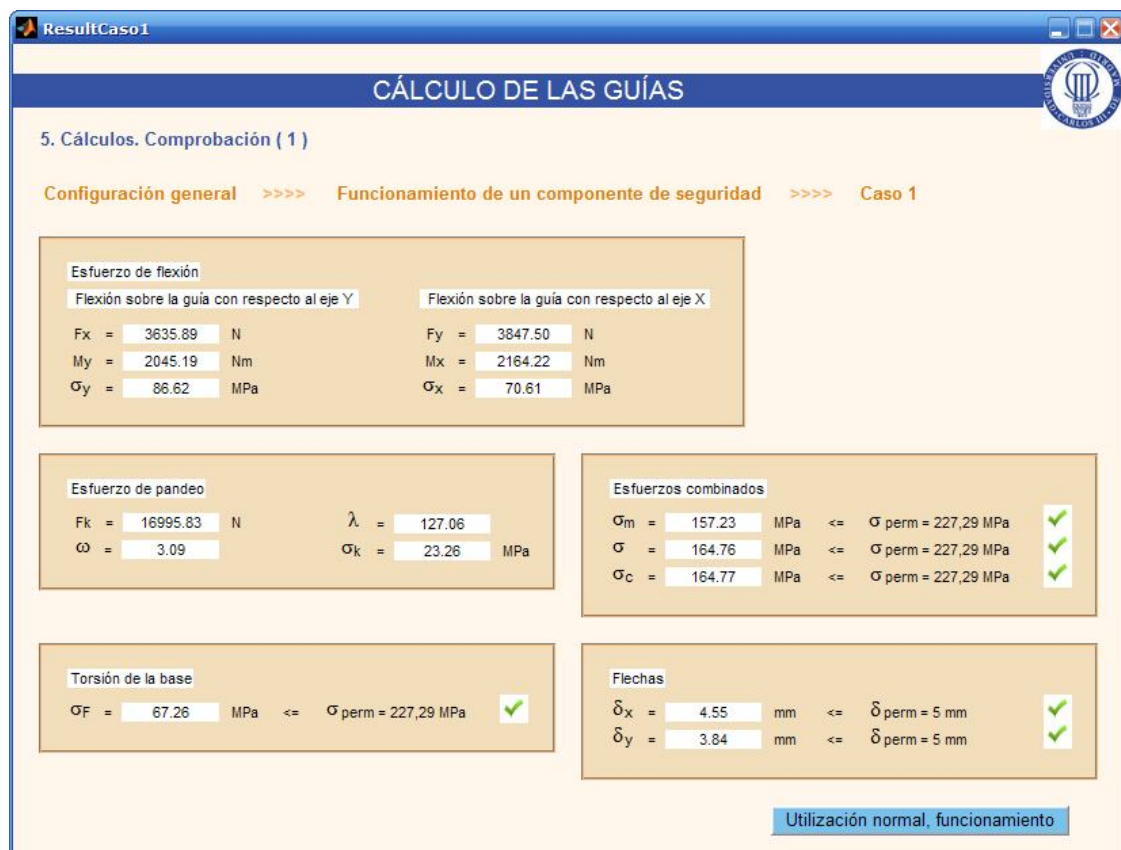


Figura 6.7 Pantalla de la interfaz ResultCaso1.



**ResultCaso1\_2**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

5. Cálculos. Comprobación ( 2 )

Configuración general >>>> Utilización normal, funcionamiento >>>> Caso 1

**Esfuerzo de flexión**

| Flexión sobre la guía con respecto al eje Y |           | Flexión sobre la guía con respecto al eje X |          |
|---|-----------|---|----------|
| Fx =  | 456.43 N  | Fy =  | 42.12 N  |
| My =  | 256.74 Nm | Mx =  | 23.69 Nm |
| $\sigma_y$ =                                | 10.87 MPa | $\sigma_x$ =                                | 0.77 MPa |

**Esfuerzos combinados**

|              |           |    |                              |   |
|--------------|-----------|----|------------------------------|---|
| $\sigma_m$ = | 11.65 MPa | <= | $\sigma_{perm} = 182,14$ MPa | ✓ |
| $\sigma$ =   | 11.70 MPa | <= | $\sigma_{perm} = 182,14$ MPa | ✓ |

**Torsión de la base**

|              |          |    |                              |   |
|--------------|----------|----|------------------------------|---|
| $\sigma_F$ = | 8.44 MPa | <= | $\sigma_{perm} = 182,14$ MPa | ✓ |
|--------------|----------|----|------------------------------|---|

**Flechas**

|              |         |    |                         |   |
|--------------|---------|----|-------------------------|---|
| $\delta_x$ = | 0.57 mm | <= | $\delta_{perm} = 10$ mm | ✓ |
| $\delta_y$ = | 0.04 mm | <= | $\delta_{perm} = 10$ mm | ✓ |

Utilización normal, carga

Figura 6.8 Pantalla de la interfaz ResultCaso1\_2.

**ResultCaso12\_3**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

5. Cálculos. Comprobación ( 3 )

Configuración general >>>> Utilización normal, carga

**Esfuerzo de flexión**

| Flexión sobre la guía con respecto al eje Y |           | Flexión sobre la guía con respecto al eje X |           |
|---|-----------|---|-----------|
| Fs =  | 1765.80 N | Fs =  | 1765.80 N |
| Fx =  | 343.71 N  | Fy =  | 99.90 N   |
| My =  | 193.34 Nm | Mx =  | 56.19 Nm  |
| $\sigma_y$ =                                | 8.19 MPa  | $\sigma_x$ =                                | 1.83 MPa  |

**Esfuerzos combinados**

|              |           |    |                              |   |
|--------------|-----------|----|------------------------------|---|
| $\sigma_m$ = | 10.02 MPa | <= | $\sigma_{perm} = 182,14$ MPa | ✓ |
| $\sigma$ =   | 10.08 MPa | <= | $\sigma_{perm} = 182,14$ MPa | ✓ |

**Torsión de la base**

|              |          |    |                              |   |
|--------------|----------|----|------------------------------|---|
| $\sigma_F$ = | 6.36 MPa | <= | $\sigma_{perm} = 182,14$ MPa | ✓ |
|--------------|----------|----|------------------------------|---|

**Flechas**

|              |         |    |                         |   |
|--------------|---------|----|-------------------------|---|
| $\delta_x$ = | 0.43 mm | <= | $\delta_{perm} = 10$ mm | ✓ |
| $\delta_y$ = | 0.10 mm | <= | $\delta_{perm} = 10$ mm | ✓ |

Volver

Figura 6.9 Pantalla de la interfaz ResultCaso12\_3.

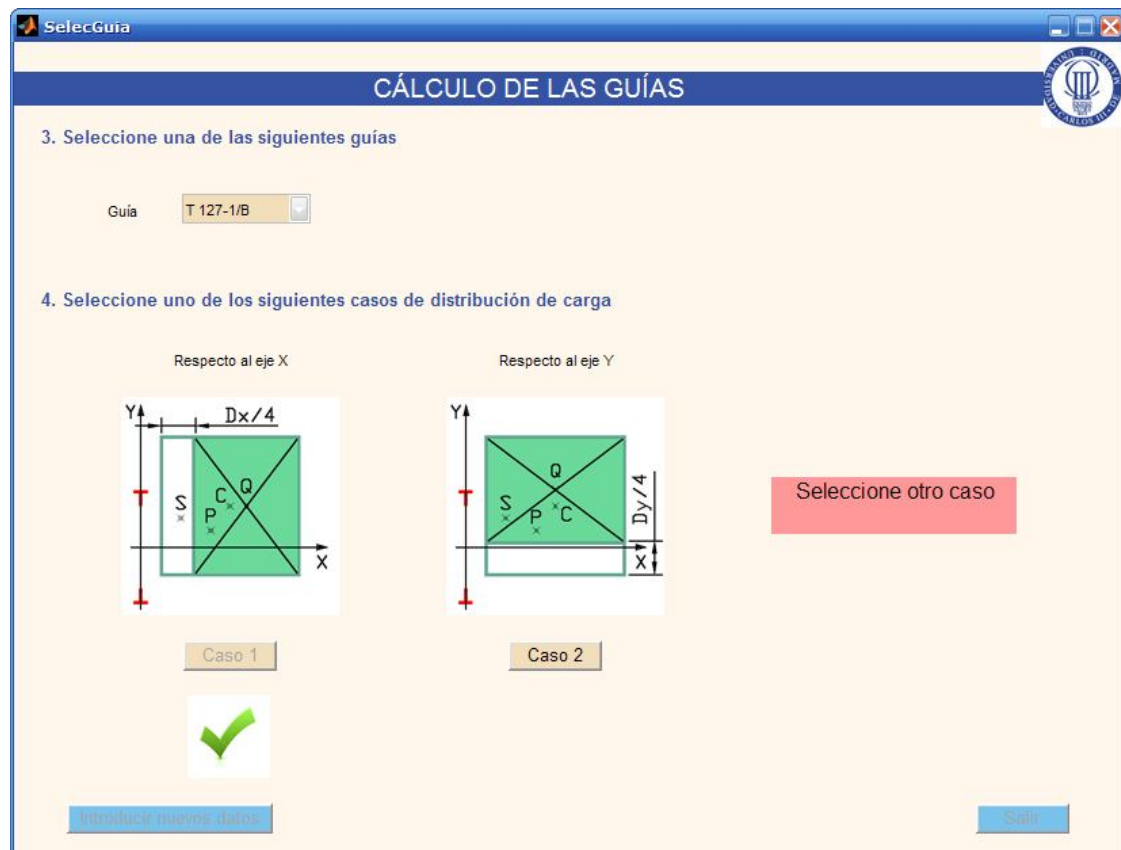


Figura 6.10 Pantalla de la interfaz SelecGuia.

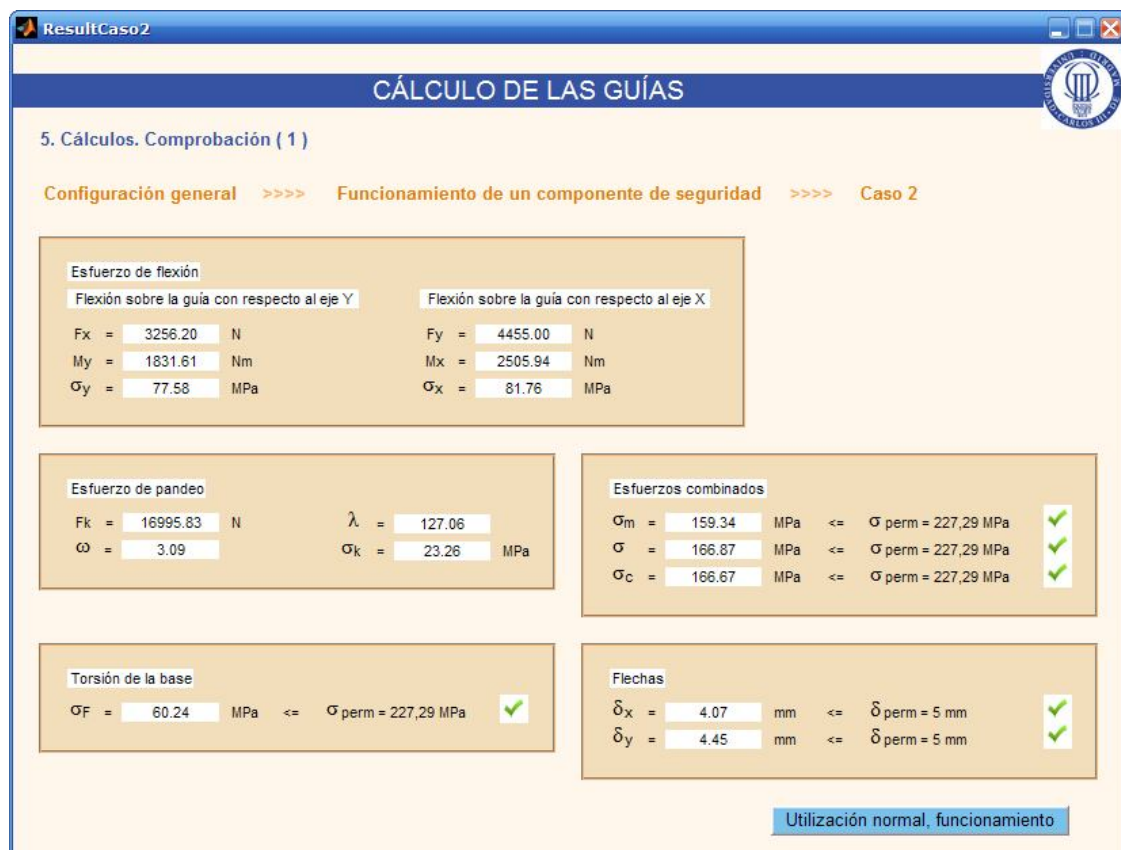


Figura 6.11 Pantalla de la interfaz ResultCaso2.

**ResultCaso2\_2**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

5. Cálculos. Comprobación ( 2 )

Configuración general >>>> Utilización normal, funcionamiento >>>> Caso 2

**Esfuerzo de flexión**

Flexión sobre la guía con respecto al eje Y

Flexión sobre la guía con respecto al eje X

|              |        |     |              |        |     |
|--------------|--------|-----|--------------|--------|-----|
| Fx =         | 304.56 | N   | Fy =         | 285.12 | N   |
| My =         | 171.32 | Nm  | Mx =         | 160.38 | Nm  |
| $\sigma_y$ = | 7.26   | MPa | $\sigma_x$ = | 5.23   | MPa |

**Esfuerzos combinados**

|              |       |     |    |                              |   |
|--------------|-------|-----|----|------------------------------|---|
| $\sigma_m$ = | 12.49 | MPa | <= | $\sigma_{perm}$ = 182,14 MPa | ✓ |
| $\sigma$ =   | 12.54 | MPa | <= | $\sigma_{perm}$ = 182,14 MPa | ✓ |

**Torsión de la base**

|              |      |     |    |                              |   |
|--------------|------|-----|----|------------------------------|---|
| $\sigma_F$ = | 5.63 | MPa | <= | $\sigma_{perm}$ = 182,14 MPa | ✓ |
|--------------|------|-----|----|------------------------------|---|

**Flechas**

|              |      |    |    |                         |   |
|--------------|------|----|----|-------------------------|---|
| $\delta_x$ = | 0.38 | mm | <= | $\delta_{perm}$ = 10 mm | ✓ |
| $\delta_y$ = | 0.28 | mm | <= | $\delta_{perm}$ = 10 mm | ✓ |

Utilización normal, carga

Figura 6.12 Pantalla de la interfaz ResultCaso2\_2.

**SelecGuia**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

3. Seleccione una de las siguientes guías

Guía

4. Seleccione uno de los siguientes casos de distribución de carga

Respecto al eje X

Caso 1

✓

Respecto al eje Y

Caso 2

✓

La guía seleccionada es correcta

Introducir nuevos datos

Salir

Figura 6.13 Pantalla de la interfaz SelecGuia.

A continuación, vuelve a aparecer la GUI SelecConfig (Figura 6.14), pero en esta ocasión sólo permite la selección del contrapeso. Pulsando el botón *Contrapeso* se abre la ventana IntroDatosCp y se introducen en ella los datos que se observan en la Figura 6.15, presionando después el botón *Seleccionar guía*.

Una vez abierta la ventana SelecGuiaCp se elige la guía del contrapeso de entre las cuatro disponibles, en este caso T78/B, y se presiona el botón *Calcular* para que se inicie la muestra de resultados, los cuales aparecen en la GUI ResultCp (Figura 6.16). Regresando de nuevo a la interfaz SelecGuiaCp, se observa que la guía seleccionada para el contrapeso es la correcta (Figura 6.17), dando por terminado su cálculo y procediendo a salir de ella.

Acto seguido, vuelve a aparecer la GUI SelecElemento, indicándose en ella que el diseño de las guías se ha realizado correctamente y permitiendo ahora el cálculo de los cables de suspensión. Presionando el pulsador *Cables de suspensión* se inicia la interfaz SelecSuspen (Figura 6.18) en la que se marca la opción de suspensión 1:1, correspondiente a ascensores de media y baja velocidad, para después pasar a seleccionar una configuración de la suspensión, ventana SelecConfigSuspen (Figura 6.19). En ella se marca la opción *a)* de entre las dos posibles, apareciendo la GUI IntroDatSuspen, en la que se seleccionan los datos mostrados en la Figura 6.20.




Figura 6.14 Pantalla de la interfaz SelecConfig.

**IntroDatosCp**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

2. Introduzca los siguientes datos para realizar el cálculo según UNE-EN 81-1

|   |       |     |
|---|-------|-----|
| Masa de la cabina (P)                             | 705   | kg  |
| Carga nominal (Q)                                 | 450   | kg  |
| Factor de equilibrio (q)                          | 0.5   |     |
| Profundidad del contrapeso según el eje X (Dx)    | 0.094 | m   |
| Anchura del contrapeso según el eje Y (Dy)        | 0.864 | m   |
| Velocidad nominal (v, igual a la de la cabina)    | 1     | m/s |
| Masa sobre una guía debido al equipo auxiliar (m) | 2.5   | kg  |
| Distancia entre fijaciones de guía (l)            | 3     | m   |
| Distancia entre guías de contrapeso (h)           | 2.725 | m   |



Selecionar guía

Figura 6.15 Pantalla de la interfaz IntroDatosCp.

**ResultCp**

**CÁLCULO DE LAS GUÍAS**

5. Cálculos. Comprobación

Contrapeso >>>> Utilización normal, funcionamiento

**Esfuerzo de flexión**

| Flexión sobre la guía con respecto al eje Y |          | Flexión sobre la guía con respecto al eje X |           |
|---|----------|---|-----------|
| Fx =  | 39.34 N  | Fy =  | 361.58 N  |
| My =  | 22.13 Nm | Mx =  | 203.39 Nm |
| $\sigma_y$ =                                | 3.27 MPa | $\sigma_x$ =                                | 26.89 MPa |

**Esfuerzos combinados**

|              |           |    |                              |   |
|--------------|-----------|----|------------------------------|---|
| $\sigma_m$ = | 30.16 MPa | <= | $\sigma_{perm}$ = 182,14 MPa | ✓ |
| $\sigma$ =   | 30.22 MPa | <= | $\sigma_{perm}$ = 182,14 MPa | ✓ |

**Torsión de la base**

|              |          |    |                              |   |
|--------------|----------|----|------------------------------|---|
| $\sigma_F$ = | 1.49 MPa | <= | $\sigma_{perm}$ = 182,14 MPa | ✓ |
|--------------|----------|----|------------------------------|---|

**Flechas**

|              |         |    |                         |   |
|--------------|---------|----|-------------------------|---|
| $\delta_x$ = | 0.28 mm | <= | $\delta_{perm}$ = 10 mm | ✓ |
| $\delta_y$ = | 2.27 mm | <= | $\delta_{perm}$ = 10 mm | ✓ |

Volver

Figura 6.16 Pantalla de la interfaz ResultCp.



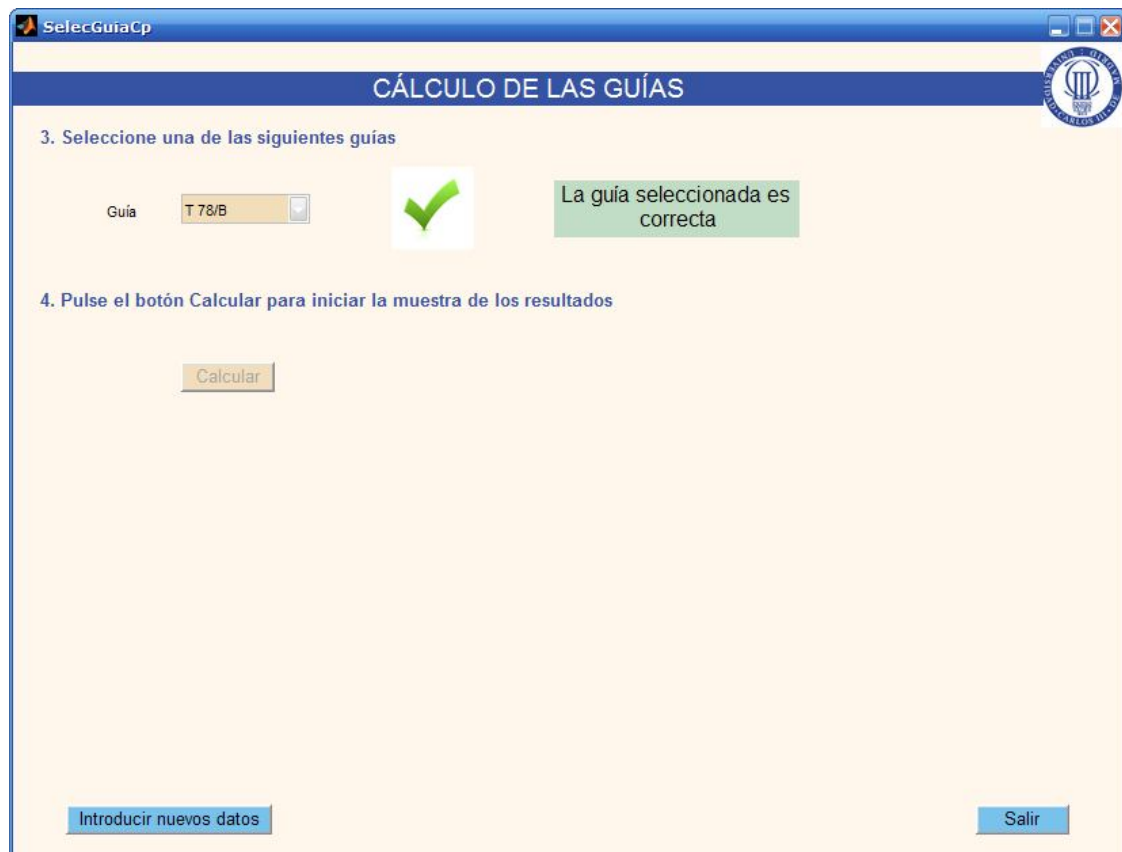


Figura 6.17 Pantalla de la interfaz SelecGuiaCp.

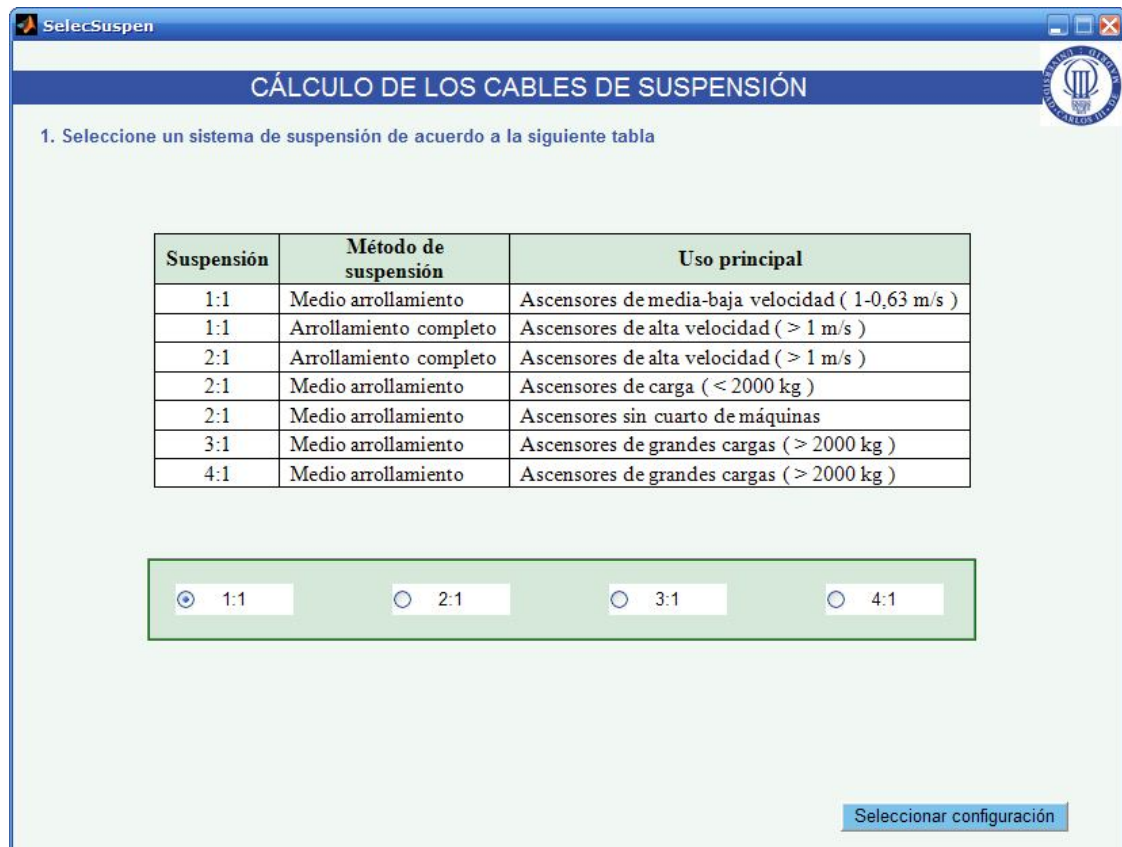


Figura 6.18 Pantalla de la interfaz SelecSuspen.

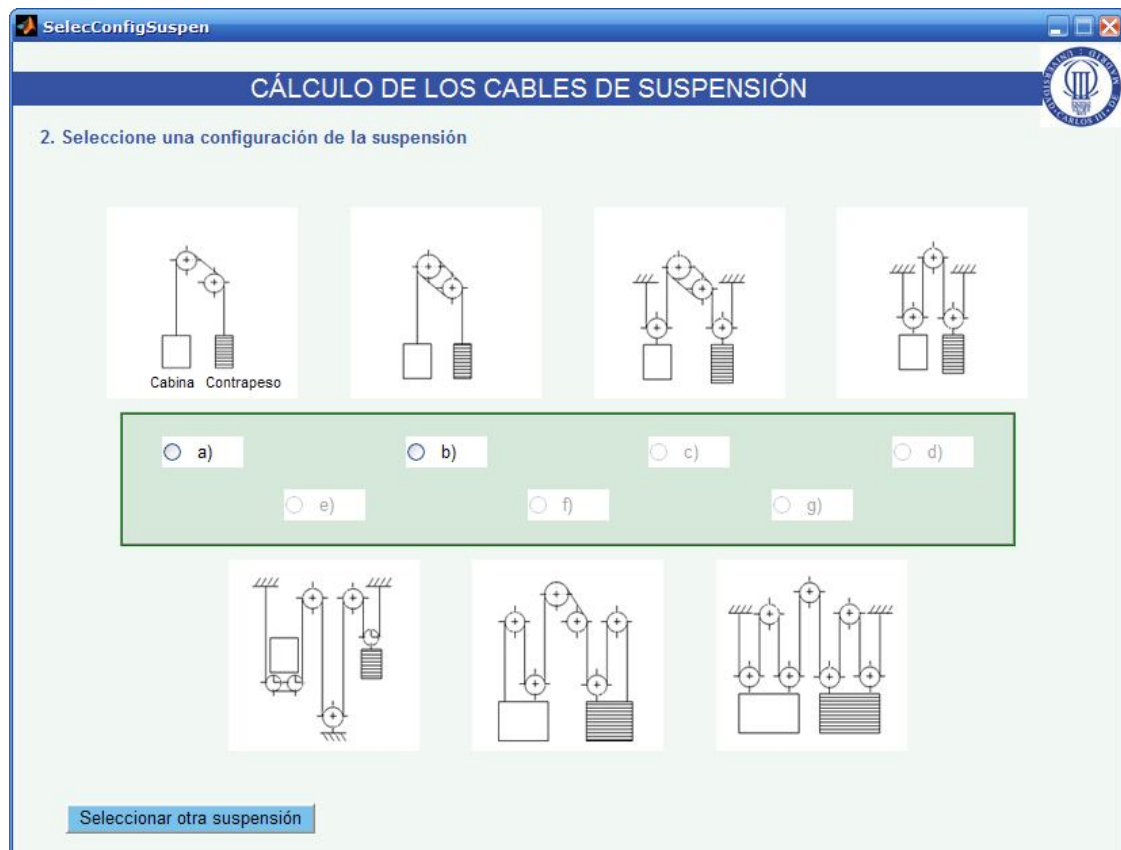


Figura 6.19 Pantalla de la interfaz SelecConfigSuspen.

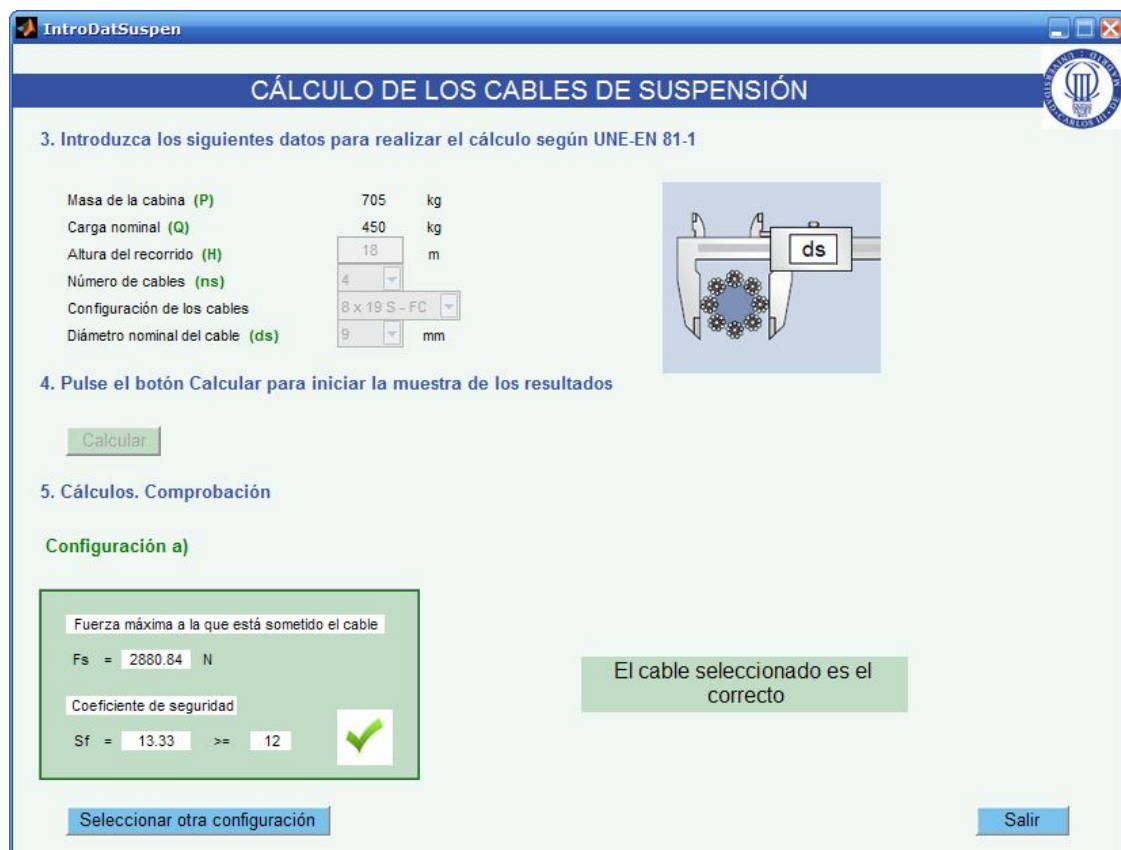


Figura 6.20 Pantalla de la interfaz IntroDatSuspen.

Una vez seleccionados todos los datos se presiona el botón *Calcular* y se inicia la muestra de resultados (Figura 6.20), en la que se comprueba que las características seleccionadas para el cable hacen que éste sea el correcto, terminando de esta forma con el cálculo y permitiéndose la salida de la ventana.

De nuevo, la interfaz *SeleccElemento* se abre, mostrando ahora que el diseño de los cables de suspensión se ha llevado a cabo correctamente, y permitiendo el cálculo de la polea de tracción. Pulsando el botón *Polea de tracción* se abre la GUI *IntroDatPolea*, en la que se introducen los datos que aparecen en la Figura 6.21.

|  |                     |                  |
|--|---------------------|------------------|
| Masa de la cabina ( <b>P</b> )           | 705                 | kg               |
| Carga nominal ( <b>Q</b> )               | 450                 | kg               |
| Factor de equilibrio ( <b>q</b> )        | 0.5                 |                  |
| Velocidad nominal ( <b>v</b> )           | 1                   | m/s              |
| Deceleración de frenado ( <b>a</b> )     | 0.7                 | m/s <sup>2</sup> |
| Altura del recorrido ( <b>H</b> )        | 18                  | m                |
| Factor de suspensión ( <b>r</b> )        | 1                   |                  |
| Configuración de la suspensión           | Medio arrollamiento |                  |
| Número de cables ( <b>ns</b> )           | 4                   |                  |
| Configuración de los cables              | 8x19 S-FC           |                  |
| Diámetro nominal del cable ( <b>ds</b> ) | 9                   | mm               |
| Masa del cable ( <b>mL</b> )             | 0.273               | kg/m             |
| Ángulo de abrazamiento ( <b>α1</b> )     | 150                 | grados           |

Seleccionar polea

Figura 6.21 Pantalla de la interfaz *IntroDatPolea*.

Posteriormente se pulsa el botón *Seleccionar polea* apareciendo la interfaz *SeleccPolea*, en la que en primer lugar, es necesario definir las dimensiones de la polea y comprobar su disponibilidad, es decir, si existe o no una polea capaz de acoger el número de cables que se han seleccionado en la GUI *IntroDatSuspen* y de cumplir con el diámetro mínimo exigido por normativa que es función del diámetro de los cables. Introduciendo las dimensiones que se muestran en la Figura 6.22 se comprueba que la polea es capaz de acoger esa cantidad de cables.

A continuación, se procede a introducir las características relativas a la garganta de la polea, indicadas en la Figura 6.22, pulsándose después el botón *Calcular polea* con el que se inicia la muestra de resultados (Figura 6.23).



**Selección de la polea**

2. Seleccione una polea y compruebe su disponibilidad

Diámetro de la polea (dp, en función de ds) 400 mm  
 Ancho de la polea (L, en función de dp) 100 mm  
 Número de cables máximo 6  
 Paso (P) 21 mm

Número de cables ≤ Número de cables máx  
 ns = 4 ≤ 6

La polea es capaz de acoger ese nº de cables

3. Introduzca las características de la polea

Tipo de garganta Semicircular Desfondada  
 Ángulo de desfondado (β) 95 grados  
 Ángulo de garganta (γ) 30 grados

|                                       | Ángulo de desfondado (β) | Ángulo de garganta (γ) |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Garganta semicircular desfondada      | 85° ÷ 106°               | 25° ÷ 40°              |
| Garganta trapecial en V no desfondada | 0°                       | 35° ÷ 40°              |
| Garganta trapecial en V desfondada    | 85° ÷ 106°               | 35° ÷ 40°              |

Calcular polea

introduce nueva data

Figura 6.22 Pantalla de la interfaz SelecPolea.

**ResultPolea**

CÁLCULO DE LA POLEA

4. Cálculos. Comprobación

Condición de carga en cabina

Fuerzas de los cables a cada lado de la polea  
 T1 = 3156.75 N  
 T2 = 2280.83 N  
 Coeficiente de rozamiento  
 f = 0.20 ≥ 0.12

Condición de frenado de emergencia

Fuerzas de los cables a cada lado de la polea  
 T1 = 2495.22 N  
 T2 = 1852.39 N  
 Coeficiente de rozamiento  
 f = 0.18 ≥ 0.11

Condición de cabina retenida

Fuerzas de los cables a cada lado de la polea  
 T1 = 1729.01 N  
 T2 = 48.21 N  
 Coeficiente de rozamiento  
 f = 0.39 ≤ 1.37

Volver

Figura 6.23 Pantalla de la interfaz ResultPolea.

Volviendo a la GUI SelecPolea (Figura 6.24) se observa que las características seleccionadas para la polea de tracción hacen que ésta sea la correcta, dando por concluido su cálculo y procediendo a salir de la ventana.

Figura 6.24 Pantalla de la interfaz SelecPolea.

Figura 6.25 Pantalla de la interfaz SelecElemento.

Para finalizar, vuelve a aparecer la interfaz SelecElemento (Figura 6.25) indicando que el diseño de la polea de tracción se ha realizado correctamente y que con ello ha terminado el diseño de los tres elementos que la aplicación DISAE 1.0 permite calcular, surgiendo a la vez dos nuevas opciones en la GUI, diseñar un nuevo ascensor o salir de la aplicación, seleccionando esta última se produce el cierre de la aplicación DISAE 1.0.

## 6.2 Comparación de resultados

El propósito de este apartado es el de comparar los resultados obtenidos mediante la aplicación DISAE 1.0, para cada uno de los tres elementos diseñados, con los resultados procedentes de los cálculos realizados en el Capítulo 3 mediante las ecuaciones que allí se indican, y de esta forma comprobar la efectividad y la utilidad de la aplicación creada.

La forma de comparar los resultados es mediante tablas (de Tabla 6.1 a Tabla 6.10), en las cuales sólo aparecen los valores que se han considerado más importantes y significativos, pudiéndose comparar el resto de valores a través de la observación de los cálculos llevados a cabo en el Capítulo 3 y de las imágenes de las interfaces de resultados realizadas en el apartado 6.1.

### Guías de la cabina

#### Funcionamiento de un componente de seguridad

##### *Caso 1*

*Tabla 6.1 Comparación de los resultados de las guías de la cabina para el funcionamiento de un componente de seguridad, Caso 1.*

| Variables a comprobar       | Símbolos   | Capítulo 3 | DISAE 1.0  |
|-----------------------------|------------|------------|------------|
| <b>Esfuerzos combinados</b> | $\sigma_m$ | 157,16 MPa | 157,23 MPa |
|                             | $\sigma$   | 164,69 MPa | 164,76 MPa |
|                             | $\sigma_c$ | 164,70 MPa | 164,77 MPa |
| <b>Torsión de la base</b>   | $\sigma_F$ | 67,21 MPa  | 67,26 MPa  |
| <b>Flechas</b>              | $\delta_x$ | 4,54 mm    | 4,55 mm    |
|                             | $\delta_y$ | 3,84 mm    | 3,84 mm    |

Caso 2

Tabla 6.2 Comparación de los resultados de las guías de la cabina para el funcionamiento de un componente de seguridad, Caso 2.

| Variables a comprobar | Símbolos   | Capítulo 3 | DISAE 1.0  |
|-----------------------|------------|------------|------------|
| Esfuerzos combinados  | $\sigma_m$ | 159,79 MPa | 159,34 MPa |
|                       | $\sigma$   | 167,32 MPa | 166,87 MPa |
|                       | $\sigma_c$ | 167,07 MPa | 166,67 MPa |
| Torsión de la base    | $\sigma_F$ | 60,24 MPa  | 60,24 MPa  |
| Flechas               | $\delta_x$ | 4,07 mm    | 4,07 mm    |
|                       | $\delta_y$ | 4,47 mm    | 4,45 mm    |

Utilización normal, funcionamiento

Caso 1

Tabla 6.3 Comparación de los resultados de las guías de la cabina para el funcionamiento normal, Caso 1.

| Variables a comprobar | Símbolos   | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
| Esfuerzos combinados  | $\sigma_m$ | 11,62 MPa  | 11,65 MPa |
|                       | $\sigma$   | 11,67 MPa  | 11,70 MPa |
| Torsión de la base    | $\sigma_F$ | 8,42 MPa   | 8,44 MPa  |
| Flechas               | $\delta_x$ | 0,57 mm    | 0,57 mm   |
|                       | $\delta_y$ | 0,04 mm    | 0,04 mm   |

Caso 2

Tabla 6.4 Comparación de los resultados de las guías de la cabina para el funcionamiento normal, Caso 2.

| Variables a comprobar | Símbolos   | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
| Esfuerzos combinados  | $\sigma_m$ | 12,67 MPa  | 12,49 MPa |
|                       | $\sigma$   | 12,72 MPa  | 12,54 MPa |
| Torsión de la base    | $\sigma_F$ | 5,63 MPa   | 5,63 MPa  |
| Flechas               | $\delta_x$ | 0,38 mm    | 0,38 mm   |
|                       | $\delta_y$ | 0,29 mm    | 0,28 mm   |

### Utilización normal, carga

Tabla 6.5 Comparación de los resultados de las guías de la cabina para la situación de carga.

| Variables a comprobar | Símbolos   | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
| Esfuerzos combinados  | $\sigma_m$ | 10,02 MPa  | 10,02 MPa |
|                       | $\sigma$   | 10,07 MPa  | 10,08 MPa |
| Torsión de la base    | $\sigma_F$ | 6,36 MPa   | 6,36 MPa  |
| Flechas               | $\delta_x$ | 0,43 mm    | 0,43 mm   |
|                       | $\delta_y$ | 0,10 mm    | 0,10 mm   |

### **Guías del contrapeso**

#### Funcionamiento normal

Tabla 6.6 Comparación de los resultados de las guías del contrapeso para el funcionamiento normal.

| Variables a comprobar | Símbolos   | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|-----------------------|------------|------------|-----------|
| Esfuerzos combinados  | $\sigma_m$ | 30,16 MPa  | 30,16 MPa |
|                       | $\sigma$   | 30,22 MPa  | 30,22 MPa |
| Torsión de la base    | $\sigma_F$ | 1,49 MPa   | 1,49 MPa  |
| Flechas               | $\delta_x$ | 0,28 mm    | 0,28 mm   |
|                       | $\delta_y$ | 2,27 mm    | 2,27 mm   |

### **Cables de suspensión**

Tabla 6.7 Comparación de los resultados de los cables de suspensión.

| Variables a comprobar              | Símbolos | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|------------------------------------|----------|------------|-----------|
| Fuerza máxima de tensión del cable | $F_s$    | 2880,84 N  | 2880,84 N |
| Coefficiente de seguridad          | $S_f$    | 13,33      | 13,33     |

### **Polea de tracción**

#### Condición de carga en cabina

Tabla 6.8 Comparación de los resultados de la polea para la condición de carga en cabina.

| Variables a comprobar      | Símbolos      | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|----------------------------|---------------|------------|-----------|
| Coefficiente de rozamiento | $f_1$ (Euler) | 0,12       | 0,12      |
|                            | $f_2$         | 0,20       | 0,20      |

### Condición de frenado de emergencia

*Tabla 6.9 Comparación de los resultados de la polea para la condición de frenado de emergencia.*

| Variables a comprobar             | Símbolos      | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|-----------------------------------|---------------|------------|-----------|
| <b>Coefficiente de rozamiento</b> | $f_1$ (Euler) | 0,11       | 0,11      |
|                                   | $f_2$         | 0,18       | 0,18      |

### Condición de cabina retenida

*Tabla 6.10 Comparación de los resultados de la polea para la condición de cabina retenida.*

| Variables a comprobar             | Símbolos      | Capítulo 3 | DISAE 1.0 |
|-----------------------------------|---------------|------------|-----------|
| <b>Coefficiente de rozamiento</b> | $f_1$ (Euler) | 1,37       | 1,37      |
|                                   | $f_2$         | 0,39       | 0,39      |

Observando las distintas tablas (de Tabla 6.1 a Tabla 6.10) se comprueba que la mayoría de los valores que allí se comparan, los resultados obtenidos en el Capítulo 3 con los obtenidos mediante la aplicación DISAE 1.0, coinciden exactamente, existiendo algunas excepciones que se deben a que el programa MATLAB, que es el software que sirve de soporte para la ejecución de la aplicación DISAE 1.0, realiza las operaciones de cálculo con un mayor número de decimales que los empleados en los cálculos del Capítulo 3, obteniéndose unos resultados más precisos. Aun así, las diferencias entre los resultados son mínimas y no alteran la elección final de ninguno de los tres elementos diseñados en el presente proyecto, obteniéndose el mismo diseño por elemento y con las mismas características de una forma y de otra.

Por tanto, en vista de que los resultados obtenidos con la aplicación DISAE 1.0 se consideran más que satisfactorios, debido a que sus cálculos son más precisos que los llevados a cabo manualmente en el Capítulo 3, se concluye que las operaciones realizadas mediante la aplicación DISAE 1.0 son correctas y que los elementos diseñados con esta aplicación son perfectamente válidos.

# Capítulo 7

## Conclusiones y trabajos futuros

---

### 7.1 Conclusiones

El objetivo que se había fijado para el presente Proyecto Fin de Carrera era el de desarrollar una interfaz gráfica de usuario mediante la cual fuera posible el diseño de algunos de los elementos que forman parte de un ascensor eléctrico, concretamente el de las guías de deslizamiento, los cables de suspensión y la polea de tracción.

Para cumplir este objetivo se ha hecho uso, en primer lugar, de la normativa aplicable a ascensores eléctricos, Norma EN 81-1, de la que se ha obtenido la información necesaria sobre los cálculos que debían realizarse y los requisitos que debían cumplirse para que los elementos diseñados pudieran ser instalados en un ascensor real.

A la hora de llevar a cabo el dimensionamiento de los tres elementos ha sido necesario realizar ciertas suposiciones y consideraciones de diseño, ya que este proyecto no tiene por finalidad la resolución de ningún caso concreto sino que está abierto a múltiples configuraciones, sin las cuales no hubiera sido posible realizar los cálculos y obtener los resultados con los que poder comparar más adelante la aplicación creada.

Para construir la interfaz gráfica de usuario se ha empleado la herramienta GUIDE del software MATLAB, gracias a la cual ha sido posible elaborar cada una de las interfaces que forman parte de la aplicación creada DISAE 1.0 (DISEño de Ascensores Eléctricos).

El proceso de construcción ha consistido en crear, por un lado, la parte gráfica y visual de las interfaces, partiendo de una ventana en blanco a la que se han ido añadiendo diferentes elementos en función de las necesidades requeridas para cada interfaz, y por el otro, el código asociado a cada uno de los componentes que figuran en ellas, programando en lenguaje de MATLAB todas las operaciones que deben realizar.

Para finalizar, se ha llevado a cabo la resolución de un caso real mediante la aplicación DISAE 1.0, empleando las mismas consideraciones que se hicieron en el capítulo de cálculos. Tras la resolución se realiza la comparación de los resultados y se comprueba que los obtenidos mediante la aplicación DISAE 1.0 coinciden con los del capítulo de cálculos, obteniéndose el mismo diseño para cada uno de los tres elementos por ambos métodos.

Por tanto, en vista de que el objetivo planteado inicialmente para este proyecto se ha llevado a cabo adecuadamente, ya que se ha creado una interfaz gráfica de usuario (DISAE 1.0) con la que es posible diseñar y calcular las guías de deslizamiento, tanto de la cabina como del contrapeso, los cables de suspensión y la polea de tracción de un ascensor eléctrico, de una manera rápida, sencilla y precisa, y en total cumplimiento con la normativa vigente, se concluye que el presente proyecto cumple correctamente con los objetivos marcados al comienzo del mismo.

## **7.2 Trabajos futuros**

Los ascensores eléctricos están constituidos por una gran cantidad de elementos mecánicos y eléctricos. Este proyecto fin de carrera se centra únicamente en el diseño y cálculo de tres de ellos, las guías de deslizamiento, los cables de suspensión y la polea de tracción. Por lo que se propone como trabajo futuro realizar el diseño y el cálculo de otros elementos que forman parte de estos ascensores, tales como amortiguadores, grupo tractor (motor eléctrico, reductor y freno) o cables del limitador de velocidad, implementándolos después en la aplicación DISAE 1.0.

Por otra parte, debido a que en la aplicación DISAE 1.0 sólo se permite que la altura del recorrido del ascensor sea menor o igual a 25 m, sería adecuado como trabajo futuro incluir dentro de la aplicación la posibilidad de trabajar con alturas de recorrido mayores, lo que conllevaría emplear cables de compensación, y por tanto, realizar su diseño y cálculo dentro de la aplicación.



## Referencias

---

- [1] JANOVSKY, L. *Elevator Mechanical Design*. 2a ed. Chichester: Ellis Horwood, 1993. ISBN: 0-13-252016-8
- [2] MIRAVETE, A.; LARRODÉ, E. *Elevadores: Principios e innovaciones*. Barcelona: Reverté, 2007. ISBN: 978-84-291-8012-1
- [3] BLÁZQUEZ JIMÉNEZ, E. *Guía de productos industriales de aplicación en ingeniería mecánica* [en línea]. E.T.S.I.I de Béjar, Universidad de Salamanca, [Consulta: 15 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/ascensor%20hidraulico.htm>
- [4] MP Ascensores. *Curso de formación de ascensores* [en línea]. Mayo 2006, [Consulta: 15 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://www.fileden.com/files/2010/3/7/2786037/Curso%20Formacion%20Ascensores.pdf>
- [5] GMV EuroLift, S.A. *Diferencias entre ascensores eléctricos y ascensores hidráulicos* [en línea]. Febrero de 2010, [Consulta: 15 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://blog.gmveurolift.es/?p=955>
- [6] AENOR. *Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Parte 1: Ascensores eléctricos*. UNE-EN 81-1:2001+A3. Madrid: AENOR, 2010
- [7] Nova Elevators Parts Co., Ltd. *Apoyos sobre las guías* [en línea]. [Consulta: 22 de octubre de 2012]. Disponible en Web: [http://www.novaelevator.com/Elevator\\_Parts/2\\_Guide\\_Shoes.htm](http://www.novaelevator.com/Elevator_Parts/2_Guide_Shoes.htm)

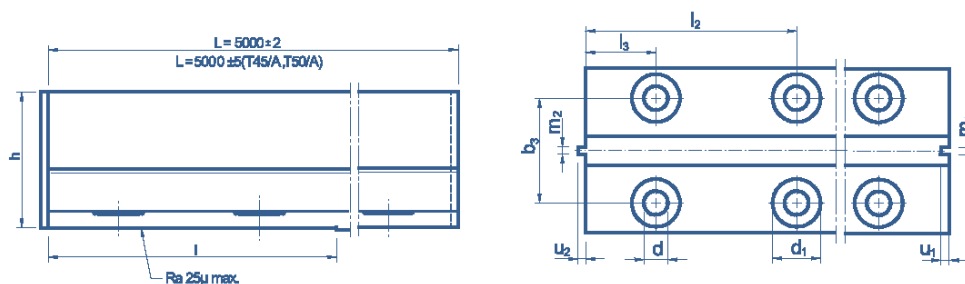
- 
- [8] ELSCO. *Elevator Roller Guides* [en línea]. [Consulta: 22 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://www.elscoguides.com/content/model-b.php>
- [9] Pfeifer-Drako. Catálogo *Elevator ropes* [en línea]. [Consulta: 11 de junio de 2012]. Disponible en Web: [http://www.pfeifer-drako.de/fileadmin/user\\_upload/DRAKO\\_doc/download/kataloge/Aufzugseile\\_Elevator-ropes-en.pdf](http://www.pfeifer-drako.de/fileadmin/user_upload/DRAKO_doc/download/kataloge/Aufzugseile_Elevator-ropes-en.pdf)
- [10] MP Ascensores. *Paracaídas* [en línea]. [Consulta: 22 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://www.macpuarsa.es/portal/web/guest/paracaidas1>
- [11] Ascensores OTIS. *Plano ascensor OTIS 2000E* [en línea]. [Consulta: 20 de febrero de 2012]. Disponible en Web: <http://www.otis.com/site/es-esl/Pages/2000E.aspx#-%20Planos%20Otis%202000E%20320%20Kg%204%20personas>
- [12] Ascensores OTIS. *Plano ascensor OTIS Gen2 Comfort* [en línea]. [Consulta: 20 de febrero de 2012]. Disponible en Web: <http://www.otis.com/site/es-esl/Pages/Gen2Comfort.aspx>
- [13] Savera. Catálogo *Guía Super* [en línea]. [Consulta: 20 de febrero de 2012]. Disponible en Web: [http://www.saveragroup.com/pdf/catalogos/GUIA%20SUPER\\_Rev.04.10.pdf](http://www.saveragroup.com/pdf/catalogos/GUIA%20SUPER_Rev.04.10.pdf)
- [14] BANGASH, M.Y.H.; BANGASH, T. *Lifts, Elevators, Escalators and Moving Walkways/Travelators* [en línea]. London: Taylor & Francis, 2007, [Consulta: 22 de octubre de 2012]. Disponible en Web: <http://es.scribd.com/doc/85841861/Lifts-Elevators-and-Moving-Walkways-Travel-a-Tors>
- [15] Mitsubishi Electric. *Sistemas de suspensión de ascensores* [en línea]. [Consulta: 11 de junio de 2012]. Disponible en Web: <http://www.mitsubishielectric.com/elevator/overview/elevators/systems.html>
- [16] MP Ascensores. Catálogo *Máquinas PM con reductor* [en línea]. [Consulta: 6 de agosto de 2012]. Disponible en Web: <http://www.macpuarsa.es/documentos/MECH00630/FTFTMECH0063300ES.pdf>
- [17] MathWorks. *MATLAB R2011b* [CD-ROM]. 7.13.0.564 v. Septiembre de 2011.

- [18] MathWorks. *MATLAB Getting Started Guide R2011b* [en línea]. Septiembre de 2011, [Consulta: 27 de febrero de 2012]. Disponible en Web: [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/getstart.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/getstart.pdf)
- [19] GARCÍA DE JALÓN, J.; RODRÍGUEZ, J.I.; VIDAL, J. *Aprenda Matlab 7.0 como si estuviera en primero* [en línea]. Madrid: E.T.S.I.I, Universidad Politécnica de Madrid, diciembre de 2005, [Consulta: 27 de febrero de 2012]. Disponible en Web: <http://mat21.etsii.upm.es/ayudainf/aprendainf/Matlab70/matlab70primero.pdf>
- [20] MathWorks. *MATLAB Creating Graphical User Interfaces R2011b* [en línea]. Septiembre de 2011, [Consulta: 27 de febrero de 2012]. Disponible en Web: [http://www.mathworks.com/help/pdf\\_doc/matlab/buildgui.pdf](http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/buildgui.pdf)
- [21] ARANA LÓPEZ-ABAD, M.S. “Interfaz gráfica para el cálculo de la dinámica longitudinal y prestaciones de un vehículo mediante la herramienta guide de Matlab”. Directora: M<sup>a</sup> Jesús López Boada. Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Mecánica, 2004.
- [22] Savera. *Savera Ride Software* [en línea]. [Consulta: 5 de marzo de 2012]. Disponible en Web: <http://www.saveragroup.com/guias/index.asp?idioma=0>
- [23] Adobe Systems Incorporated. *Adobe Photoshop CS4* [CD-ROM]. 11.0 v. Septiembre de 2008.
- [24] Autodesk. *AutoCAD 2004* [CD-ROM]. 16.0 v. Febrero de 2003.
- [25] BARRAGÁN GUERRERO, D.O. *Manual de interfaz gráfica de usuario en Matlab* [en línea]. [Consulta: 5 de marzo de 2012]. Disponible en Web: <http://www.matpic.com/>
- [26] SAYAS, F.J. *et al. Una primera sesión de trabajo con MATLAB* [en línea]. Zaragoza: Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Zaragoza, agosto de 2006, [Consulta: 7 de marzo de 2012]. Disponible en Web: <http://www.unizar.es/pde/fjgaspar/PrimeraSesion.pdf>
- [27] SAYAS, F.J. *et al. Un curso de MATLAB* [en línea]. Zaragoza: Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Zaragoza, agosto de 2006, [Consulta: 7 de marzo de 2012]. Disponible en Web: <http://www.unizar.es/pde/fjgaspar/guia.pdf>

- 
- [28] VARGAS VILLANUEVA, M. *Tutorial de introducción a MATLAB* [en línea]. [Consulta: 2 de abril de 2012]. Disponible en Web: <http://grupo.unavirtual.una.ac.cr/mahara/artefact/file/download.php?file=6824&view=1085>
- [29] GRIFFITHS, D.F. *An Introduction to Matlab* [en línea]. 2.3 v. Scotland: Departamento de Matemáticas, Universidad de Dundee, septiembre de 2005, [Consulta: 9 de abril de 2012]. Disponible en Web: <http://www.maths.dundee.ac.uk/~dfg/Matlab/Notes2-3.pdf>
- [30] FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA, G. *Creación de interfaces gráficas de usuario (GUI) con Matlab* [en línea]. Salamanca: septiembre de 2007, [Consulta: 12 de marzo de 2012]. Disponible en Web: <http://webpersonal.uma.es/de/gfdc/docencia/GuiSection.pdf>
- [31] Apuntes de la asignatura de Instalaciones y Máquinas Hidráulicas. *Introducción a Matlab*. Leganés: Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Carlos III de Madrid.
- [32] Foro de consulta *La web del programador* [en línea]. [Consulta: 19 de marzo de 2012]. Disponible en Web: <http://www.lawebdelprogramador.com/foros/buscar.php?opc=1&id=132&charSearch=matlab&x=0&y=0>
- [33] Foro de consulta *MATLAB CENTRAL* [en línea]. [Consulta: 14 de mayo de 2012]. Disponible en Web: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/>

## Anexo A

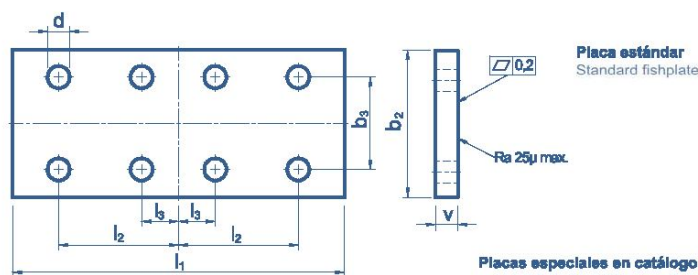
---



## ISO 7465:2007

| Dimensiones (mm)        |            | Dimensions (mm)       |  |          |                               |   |   |                               |      |          |          |          |                |   |   |   |                       |                       |                |                |
|-------------------------|------------|-----------------------|--|----------|-------------------------------|---|---|-------------------------------|------|----------|----------|----------|----------------|---|---|---|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Calibradas / Cold drawn |            | b <sub>1</sub> ± 1    | h <sub>1</sub> ± 0,20                  |          |                               |   | k <sub>2</sub> ± 0,15                         |                               |      |          |          |          | p ± 0,50       | r <sub>s</sub>                                | m <sub>1</sub> <sup>+0,06</sup> <sub>-0</sub> | m <sub>2</sub> <sup>+0</sup> <sub>-0,06</sub> | u <sub>1</sub> ± 0,10 | u <sub>2</sub> ± 0,10 | 95% max.<br>mm | 95% max.<br>mm |
|                         | T45/A      | 45                    | 45                                     |          |                               |   | 5   |                               |      |          |          |          | 5              | 1   | 2   | 1,97  | 2,5                   | 2                     | 3,5            | 0,7            |
|                         | T50/A      | 50                    | 50                                     |          |                               |   | 5   |                               |      |          |          |          | 5              | 1   | 2   | 1,97  | 2,5                   | 2                     | 3,5            | 0,7            |
|                         |            | b <sub>1</sub> ± 1,50 | A ± 0,10<br>B ± 0,75<br>h <sub>1</sub> | h ± 0,06 | l <sup>+3</sup> <sub>-0</sub> | k <sub>1</sub> <sup>+0,10</sup> <sub>-0</sub> | k <sub>2</sub> <sup>+0,10</sup> <sub>-0</sub> | n <sup>+3</sup> <sub>-0</sub> | c    | g ± 0,75 | f ± 0,75 | p ± 0,75 | r <sub>s</sub> | m <sub>1</sub> <sup>+0,06</sup> <sub>-0</sub> | m <sub>2</sub> <sup>+0</sup> <sub>-0,06</sub> | u <sub>1</sub> ± 0,10                         | u <sub>2</sub> ± 0,10 |                       |                |                |
|                         | T65/A      | 65                    | 54                                     | ·        | ·                             | 7,9   | ·   | 20                            | 5    | 4        | 6,8      | ·        | 3              | 2   | 1,97  | 2,5   | 2                     | 3,5                   | 0,7            |                |
|                         | T70/A      | 70                    | 65                                     | ·        | ·                             | 9   | ·   | 34                            | 6    | 6        | 8        | ·        | 1,5            | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2,5                   | 0,5            |                |
|                         | T70-70-9/A | 70                    | 70                                     | ·        | ·                             | 9   | ·   | 35                            | 7,9  | 8,5      | 8,5      | ·        | 3              | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2,5                   | 0,5            |                |
|                         | T75/A      | 75                    | 62                                     | ·        | ·                             | 10  | ·   | 30                            | 8    | 7        | 9        | ·        | 1,5            | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2,5                   | 0,5            |                |
|                         | T80-80-9/A | 80                    | 80                                     | ·        | ·                             | ·   | 9   | ·                             | ·    | ·        | ·        | 9        | 3              | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2,5                   | 0,5            |                |
|                         | T82/A      | 82                    | 68                                     | ·        | ·                             | 9   | ·   | 34                            | 7,5  | 8        | 8,25     | ·        | 3              | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2,5                   | 0,5            |                |
|                         | T89/A      | 89                    | 62                                     | ·        | ·                             | 16  | ·   | 34                            | 10   | 8        | 11       | ·        | 3              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 2,5                   | 0,5            |                |
| T90/A                   | 90         | 75                    | ·                                      | ·        | 16                            | ·   | 42  | 10                            | 8    | 10       | ·        | 4        | 6,4            | 6,37  | 7,14  | 6,35  | 2,5                   | 0,5                   |                |                |
| T125-L1/A               | 125        | 68                    | ·                                      | ·        | ·                             | 9   | ·   | ·                             | 6    | 8,25     | ·        | 3        | 3              | 2,97  | 3,5   | 3   | 2,5                   | 0,5                   |                |                |
| Cepilladas / Machined   | T75/B      | 75                    | 62                                     | 61       | 138                           | 10  | ·   | 30                            | 8    | 7        | 9        | ·        | 3              | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2                     | 0,4            |                |
|                         | T78/B      | 78                    | 56                                     | 55       | 138                           | 10  | ·   | 26                            | 7    | 6        | 8,5      | ·        | 2,5            | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2                     | 0,4            |                |
|                         | T82/B      | 82                    | 68                                     | 68,6     | 111                           | 8   | ·   | 34                            | 7,5  | 8        | 8,25     | ·        | 3              | 3   | 2,97  | 3,5   | 3                     | 2                     | 0,4            |                |
|                         | T89/B      | 89                    | 62                                     | 61       | 156                           | 16  | ·   | 34                            | 10   | 8        | 11       | ·        | 3              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,75                  | 0,35           |                |
|                         | T90/B      | 90                    | 75                                     | 74       | 156                           | 16  | ·   | 42                            | 10   | 8        | 10       | ·        | 4              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,75                  | 0,35           |                |
|                         | T114/B     | 114                   | 89                                     | 88       | 156                           | 16  | ·   | 38                            | 9,5  | 8        | 11       | ·        | 4              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |
|                         | T125/B     | 125                   | 82                                     | 81       | 156                           | 16  | ·   | 42                            | 10   | 8        | 12       | ·        | 4              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |
|                         | T127-1/B   | 127                   | 89                                     | 88       | 156                           | 16  | ·   | 45                            | 10   | 8        | 11       | ·        | 4              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |
|                         | T127-2/B   | 127                   | 89                                     | 88       | 156                           | 16  | ·   | 51                            | 10   | 12,7     | 15,9     | ·        | 5              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |
|                         | T140-1/B   | 140                   | 108                                    | 107      | 193                           | 19  | ·   | 51                            | 12,7 | 12,7     | 16,9     | ·        | 5              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |
|                         | T140-2/B   | 140                   | 102                                    | 101      | 193                           | 26,6  | ·   | 51                            | 17,5 | 14,5     | 17,5     | ·        | 5              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |
|                         | T140-3/B   | 140                   | 127                                    | 126      | 193                           | 31,75   | ·   | 57                            | 18   | 17,5     | 25,4     | ·        | 5              | 6,4   | 6,37  | 7,14  | 6,35                  | 1,5                   | 0,3            |                |





## ISO 7465:2007

## Características Generales de las Guías

General Characteristics of the Guide

| Normas<br>Standards | Características Mecánicas / Mechanical Characteristics                           |  |  |                                      |
|---------------------|--|--|--|--------------------------------------|
|                     |  | Carga de rotura<br>Breaking point<br>N/mm <sup>2</sup> | Límite elástico<br>Yield point<br>N/mm <sup>2</sup> min. | Alargamiento<br>Elongation<br>% min. |
| ISO 7465            | Calibradas hongo > 5mm ≤ 8mm<br>Cold drawn blade > 5mm ≤ 8mm<br>(EN 10277-2)     | 470 - 840  | 355  | 8                                    |
| ANSI A 17-1         | Calibradas hongo > 6mm ≤ 10mm<br>Cold drawn blade > 6mm ≤ 10mm<br>(EN 10277-2)   | 470 - 840  | 355  | 12                                   |
| BS 5855             | Calibradas hongo > 10mm ≤ 16mm<br>Cold drawn blade > 10mm ≤ 16mm<br>(EN 10277-2) | 420 - 710  | 300  | 12                                   |
| DIN 15311           | Capilladas hongo ≤ 16mm<br>Blade ≤ 16mm  | 410 - 520  | 275  | 22                                   |
| JIS                 | Capilladas hongo > 16mm<br>Blade > 16mm  | 410 - 520  | 285  | 22                                   |
| AFNOR NF P 82/251   |  |  |  |                                      |

Protección Antioxidante (\*)  
Anti-rust Protection (\*)

| Tipo<br>Type                  | Espeor<br>Thickness  | Exterior<br>meses<br>Months<br>outdoors | Interior<br>meses<br>Months<br>indoors |
|-------------------------------|----------------------|---|--|
| Tectyl 511 M (aceite / oil)   | 2 - 10 µ             | *                                       | 1 - 3                                  |
| Tectyl 502 G (cera / wax)     | 20 - 30 µ            | 0 - 1                                   | 4 - 8                                  |
| Tectyl 506 WD<br>(cera / wax) | Estándar<br>Standard | 20 - 30 µ                               | 1 - 3                                  |
|                               | Especial<br>Special  | 40 - 50 µ                               | 3 - 6                                  |

Composición Química  
Chemical Composition

|                          | C%   | Mn%  | P%    | S%    | Bi%  |
|--------------------------|------|------|-------|-------|------|
|                          | Max. | Max. | Max.  | Max.  | Max. |
| Calibradas<br>Cold drawn | 0,17 | 1,4  | 0,045 | 0,045 | 0,4  |
| Capilladas<br>Machined   | 0,21 | 1,5  | 0,045 | 0,045 | 0,4  |

(\*) Datos orientativos que variarán en función de la humedad y salinidad del ambiente.

(\*) All data are approximate and subject to atmospheric humidity and salinity conditions.

## Pesos (kg) y Empaquetado / Weights (kg) and Packing

|                         | Código<br>Code | Peso/<br>guía<br>Weight/<br>guide | Peso/<br>guía con<br>embalaje<br>Weight/<br>packed<br>guide | Peso/<br>guía con<br>accesorios<br>y embalaje<br>Weight/<br>packed<br>guide and<br>accessories | Nº guías/<br>paquete<br>No. of guides<br>per bundle | Nº guías por contenedor de 20 pies<br>No. of guides per 20ft container |                                       |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|---|--|---|--|---------------------------------------|
|                         |                |                                   |   |  |   | Con accesorios<br>With accessories                                     | Sin accesorios<br>Without accessories |
| Calibradas / Cold drawn | T45/A          | 16,7                              | 16,81   | 17,74  | 48  | 1200   | 1248                                  |
|                         | T60/A          | 18,55                             | 18,69   | 19,75  | 42  | 1092   | 1134                                  |
|                         | T85/A          | 24,5                              | 24,82   | 25,81  | 24  | 816  | 864                                   |
|                         | T70/A          | 36,80                             | 37,40   | 39,38  | 20  | 540  | 560                                   |
|                         | T70-70-8/A     | 44,16                             | 44,65   | 46,72  | 20  | 460  | 480                                   |
|                         | T75/A          | 42,82                             | 43,32   | 45,39  | 20  | 460  | 480                                   |
|                         | T80-80-9/A     | 53,25                             | 53,75   | 55,82  | 20  | 360  | 400                                   |
|                         | T82/A          | 42,82                             | 43,32   | 45,32  | 20  | 460  | 480                                   |
|                         | T88/A          | 61,9                              | 62,53   | 66,27  | 16  | 320  | 336                                   |
|                         | T90/A          | 67,7                              | 68,33   | 72,07  | 16  | 288  | 304                                   |
| Capilladas / Machined   | T125-11/A      | 66,45                             | 67,45   | 64,73  | 10  | 330  | 370                                   |
|                         | T75/B          | 42,82                             | 43,32   | 46,39  | 20  | 460  | 480                                   |
|                         | T78/B          | 38,55                             | 39,15   | 41,22  | 20  | 520  | 540                                   |
|                         | T82/B          | 42,82                             | 43,32   | 45,32  | 20  | 460  | 480                                   |
|                         | T88/B          | 61,9                              | 62,53   | 66,27  | 16  | 320  | 336                                   |
|                         | T90/B          | 67,7                              | 68,33   | 72,07  | 16  | 288  | 304                                   |
|                         | T114/B         | 82                                | 83  | 85,6   | 10  | 240  | 260                                   |
|                         | T125/B         | 88,55                             | 90,55   | 97,83  | 10  | 220  | 230                                   |
|                         | T127-1/B       | 89,25                             | 90,25   | 97,53  | 10  | 220  | 240                                   |
|                         | T127-2/B       | 112,76                            | 113,76  | 121,03   | 10  | 170  | 190                                   |
|                         | T140-1/B       | 137,95                            | 139,95  | 163,13   | 5   | 136  | 160                                   |
|                         | T140-2/B       | 168,8                             | 171,8   | 184,78   | 5   | 115  | 125                                   |
|                         | T140-3/B       | 225,75                            | 227,75  | 243,57   | 5   | 85   | 90                                    |



| Características técnicas<br>Technical Characteristics |                            |                        |         |                         |                         |                       |                         |                         |                       |       |
|---|----------------------------|------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|
|   | Sección<br>Section<br>cm 2 | Peso<br>Weight<br>kg/m | e<br>cm | I <sub>xx</sub><br>cm 4 | W <sub>xx</sub><br>cm 3 | I <sub>xx</sub><br>cm | I <sub>yy</sub><br>cm 4 | W <sub>yy</sub><br>cm 3 | I <sub>yy</sub><br>cm |       |
| Calibradas / Cold drawn                               | T45/A                      | 4,25                   | 3,34    | 1,31                    | 8,08                    | 2,53                  | 1,38                    | 3,84                    | 1,71                  | 0,95  |
|   | T50/A                      | 4,75                   | 3,73    | 1,43                    | 11,24                   | 3,15                  | 1,54                    | 5,25                    | 2,1                   | 1,05  |
|   | T65/A                      | 6,24                   | 4,9     | 1,71                    | 20,09                   | 5,44                  | 1,79                    | 10,92                   | 3,36                  | 1,32  |
|   | T70/A                      | 9,4                    | 7,379   | 2,034                   | 40,95                   | 9,169                 | 2,087                   | 18,86                   | 5,389                 | 1,417 |
|   | T70-70-9/A                 | 11,25                  | 8,83    | 2,11                    | 52,81                   | 10,79                 | 2,16                    | 24,62                   | 7,02                  | 1,48  |
|   | T75/A                      | 10,91                  | 8,564   | 1,861                   | 40,29                   | 9,286                 | 1,921                   | 26,47                   | 7,06                  | 1,557 |
|   | T80-80-9/A                 | 13,56                  | 10,65   | 2,32                    | 80,2                    | 14,21                 | 2,44                    | 38,83                   | 9,7                   | 1,69  |
|   | T82/A                      | 10,91                  | 8,564   | 1,998                   | 49,31                   | 10,27                 | 2,126                   | 30,17                   | 7,358                 | 1,663 |
|   | T89/A                      | 15,77                  | 12,38   | 2,032                   | 59,83                   | 14,35                 | 1,948                   | 52,41                   | 11,78                 | 1,823 |
|   | T90/A                      | 17,25                  | 13,54   | 2,612                   | 102                     | 20,86                 | 2,431                   | 52,48                   | 11,66                 | 1,744 |
|   | T125-L1/A                  | 14,39                  | 11,29   | 1,65                    | 56,46                   | 10,97                 | 1,98                    | 107,88                  | 17,26                 | 2,74  |
| Cepilladas / Machined                                 | T75/B                      | 10,91                  | 8,564   | 1,861                   | 40,29                   | 9,286                 | 1,921                   | 26,47                   | 7,06                  | 1,557 |
|   | T78/B                      | 9,847                  | 7,73    | 1,645                   | 29,92                   | 7,564                 | 1,743                   | 26,39                   | 6,766                 | 1,637 |
|   | T82/B                      | 10,91                  | 8,564   | 1,998                   | 49,31                   | 10,27                 | 2,126                   | 30,17                   | 7,358                 | 1,663 |
|   | T89/B                      | 15,77                  | 12,38   | 2,032                   | 59,83                   | 14,35                 | 1,948                   | 52,41                   | 11,78                 | 1,823 |
|   | T90/B                      | 17,25                  | 13,54   | 2,612                   | 102                     | 20,86                 | 2,431                   | 52,48                   | 11,66                 | 1,744 |
|   | T114/B                     | 20,89                  | 16,4    | 2,865                   | 179,3                   | 29,7                  | 2,93                    | 108,6                   | 19,05                 | 2,28  |
|   | T125/B                     | 22,82                  | 17,91   | 2,43                    | 151                     | 26,16                 | 2,572                   | 159,1                   | 25,46                 | 2,641 |
|   | T127-1/B                   | 22,74                  | 17,85   | 2,77                    | 187,9                   | 30,65                 | 3,065                   | 149,9                   | 23,61                 | 2,361 |
|   | T127-2/B                   | 28,72                  | 22,55   | 2,478                   | 201,7                   | 31,17                 | 2,64                    | 229,9                   | 36,2                  | 2,829 |
|   | T140-1/B                   | 35,15                  | 27,59   | 3,236                   | 403,3                   | 53,32                 | 3,387                   | 309,7                   | 44,24                 | 2,968 |
|   | T140-2/B                   | 43,21                  | 33,92   | 3,484                   | 456,7                   | 68,01                 | 3,251                   | 358,2                   | 51,18                 | 2,879 |
|   | T140-3/B                   | 57,52                  | 45,15   | 4,418                   | 947,5                   | 114,4                 | 4,059                   | 466,7                   | 66,67                 | 2,848 |



## Anexo B

---

## Ropes for Traction Drive Elevators

**DRAKO 8 x 19 – FC 8-Strand Suspension Ropes**

With natural fibre core, Sisal

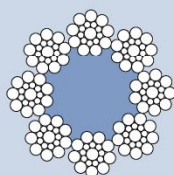
Characteristics preformed, prestretched (medium), bright, right hand, ordinary lay. Lang lay on request

Rope grades available 1570 and 1370/1770

Elastic Elongation<sup>1)</sup> ≤ 0.20 %Permanent Elongation<sup>2)</sup> ≤ 0.40 %

Rope diameter tolerance see page 6

Technical Data



8 x 19 S – FC

**DRAKO 8 x 19 S – FC**

| Nominal<br>Rope<br>diameter<br>mm | Minimum<br>breaking strength $F_{min}$<br>1570 and 1370/1770<br>kN | Length<br>mass<br>approx.<br>kg/100 m | Metallic<br>cross-section<br>approx.<br>mm <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| 8                                 | 30.4   | 21.5                                  | 22.5  |
| 9                                 | 38.4   | 27.3                                  | 28.4  |
| 9.5                               | 42.8   | 30.4                                  | 31.7  |
| 10                                | 47.4   | 33.7                                  | 35.1  |
| 11                                | 57.4   | 40.7                                  | 42.5  |
| 12                                | 68.3   | 48.5                                  | 50.6  |
| 13                                | 80.2   | 56.9                                  | 59.3  |
| 14                                | 93.0   | 66.0                                  | 68.8  |
| 15                                | 107  | 75.7                                  | 79.0  |
| 15.5                              | 114  | 80.8                                  | 84.4  |
| 16                                | 121  | 86.1                                  | 89.9  |
| 18                                | 154  | 109                                   | 114   |
| 19                                | 171  | 121                                   | 127   |

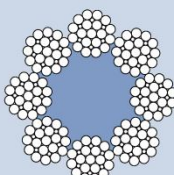


8 x 19 W – FC

**DRAKO 8 x 19 W – FC**

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| 8  | 31.6 | 22.2 | 23.4 |
| 9* | 40.0 | 28.1 | 29.6 |
| 10 | 49.4 | 34.7 | 36.5 |
| 11 | 59.7 | 42.0 | 44.2 |
| 12 | 71.1 | 50.0 | 52.6 |
| 13 | 83.4 | 58.6 | 61.7 |
| 16 | 126  | 88.8 | 93.5 |

\* no stock material



8 x 25 F – FC

**DRAKO 8 x 25 F – FC**

|     |      |      |      |
|-----|------|------|------|
| 13* | 84.4 | 58.9 | 62.5 |
| 15* | 112  | 78.4 | 83.3 |
| 16* | 128  | 89.2 | 94.7 |
| 18* | 162  | 113  | 120  |
| 19* | 180  | 126  | 134  |

\* no stock material

**18**<sup>1)</sup> at 10% of the minimum breaking load  
<sup>2)</sup> acc. to DIN 51201

Elevator Ropes 10/2011



To make correct rope installation easier, especially on high rise installations, DRAKO 8 x 19 are produced with a yellow marking line. Elevator ropes will be supplied with servings on both ends, if not specified otherwise.

PFEIFER DRAKO

## Anexo C

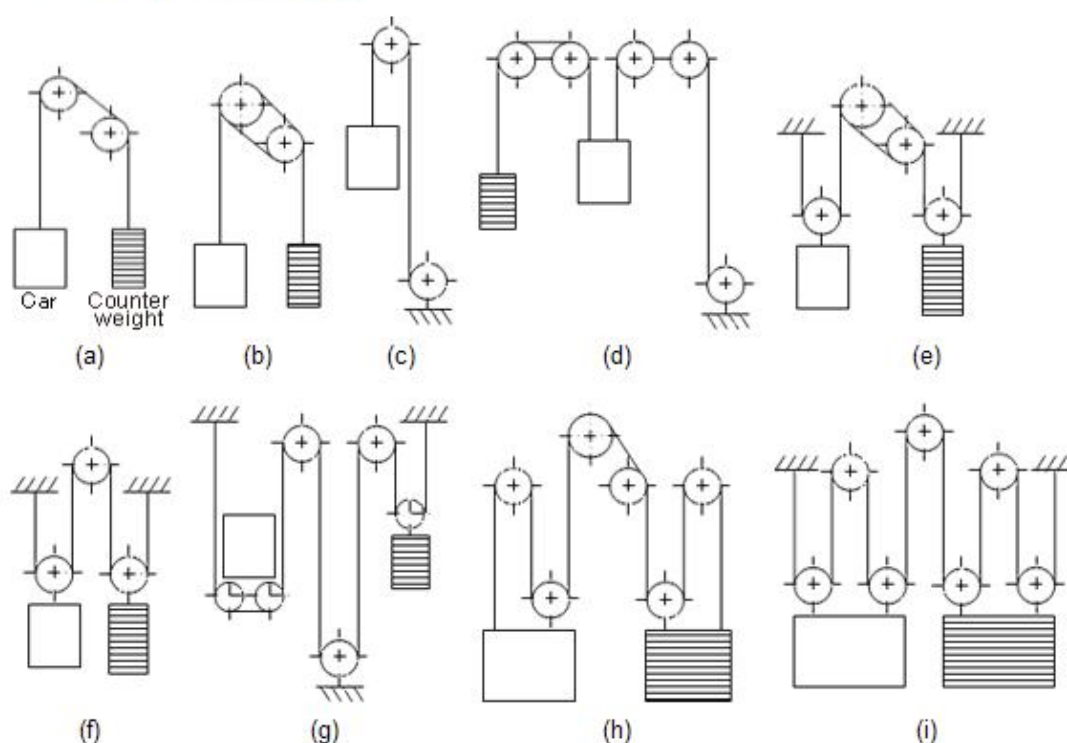
---

## 2. Roping Systems

There are various roping systems as shown in the figures and tables below. Although they vary according to the traction speed, rated load, and other factors, roping should be kept as simple as possible. Reducing the number of deflectors and suspension sheaves improves longevity and efficiency of the ropes.

With 2:1 or 4:1 roping, car speed is reduced to 1/2 or 1/4, respectively, of the rope speed, because suspension sheaves are provided above (or below) the car and counterweight, and both ends of the rope are attached to the machine room beams. With these roping systems, loads on the rope is reduced to 1/2 or 1/4 as well, hence the diameter and number of ropes can be reduced.

**Fig. Elevator Roping Systems**



**Elevator Roping Systems**

| Fig. | Roping | Roping method           | Principal use               |
|------|--------|-------------------------|-----------------------------|
| a    | 1:1    | Half wrap (Single wrap) | Mid-, low-speed elevators   |
| b    | 1:1    | Full wrap (Double wrap) | High-speed elevators        |
| c    | 1:1    | Drum winding            | Home elevators              |
| d    | 1:1    | Drum winding            | Small, low-speed elevators  |
| e    | 2:1    | Full wrap (Double wrap) | High-speed elevators        |
| f    | 2:1    | Half wrap (Single wrap) | Freight elevators           |
| g    | 2:1    | Half wrap (Single wrap) | Machine-room-less elevators |
| h    | 3:1    | Half wrap (Single wrap) | Large freight elevators     |
| i    | 4:1    | Half wrap (Single wrap) | Large freight elevators     |

## Anexo D

---



## FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

MECANIZADOS

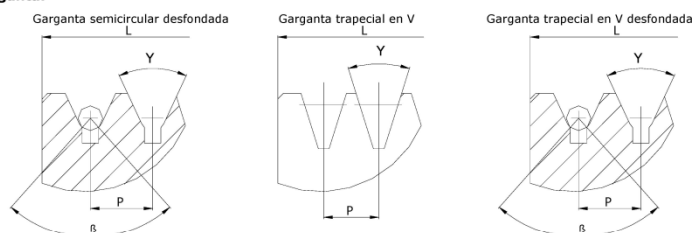
Máquina PM

### CARACTERÍSTICAS POLEAS TRACTORAS

#### • Garganta de polea:

- **Estándar:** Semicircular desfondada:  $\gamma=35^\circ$  y  $\beta=95^\circ$ ,  $\varnothing$ Cable=10mm, Paso=15mm.
- **Especial:** Garganta semicircular desfondada:  $\gamma=25^\circ \pm 40^\circ$ ,  $\beta=85^\circ \pm 106^\circ$ .  
Garganta trapecial en V:  $\gamma=35^\circ \pm 40^\circ$ .  
Garganta trapecial en V desfondada:  $\gamma=35^\circ \pm 40^\circ$ ,  $\beta=85^\circ \pm 106^\circ$ .

#### • Tipos de garganta:



- N° de cables y diámetros de cable, en función del diámetro de la polea, del ancho y del paso (cota P):

| POLEAS TRACTORAS |                 |                      |        |        |                   |        |              |        |                   |  | N°<br>Cables<br>máx |
|------------------|-----------------|----------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------------|--------|-------------------|--|---------------------|
| Ø Polea<br>(mm)  | Ancho L<br>(mm) | Ø Cable 8 , 9 , 10mm |        |        | Ø Cable 11 , 12mm |        | Ø Cable 13mm |        | Ø Cable 14 , 15mm |  |                     |
|                  |                 | P=15mm               | P=18mm | P=21mm | P=18mm            | P=21mm | P=18mm       | P=21mm | P=21mm            |  |                     |
|                  |                 |                      |        |        |                   |        |              |        |                   |  |                     |
| Ø400             | 100             | 6                    | 5      | 4      |                   |        |              |        |                   |  |                     |
|                  | 72              | 4                    | 3      | 3      | 3                 | 3      |              |        |                   |  |                     |
|                  | 100             | 6                    | 5      | 4      | 5                 | 4      |              |        |                   |  |                     |
| Ø480             | 72              | 4                    | 3      | 3      | 3                 | 3      | 3            | 3      | 3                 |  |                     |
|                  | Ø600            | 72                   | 4      | 3      | 3                 | 3      | 3            |        |                   |  |                     |

- Codificación poleas tractoras para la realización de la toma de pedido:

|  |   |   |   |   |   |    |   |
|--|---|---|---|---|---|----|---|
| Ejemplo  | M | R | 6 | 8 | T | 96 | L |
| MÁQUINA  |   |   |   |   |   |    |   |
| M: Máquina PM  |   |   |   |   |   |    |   |
| PASO P   |   |   |   |   |   |    |   |
| R: 15mm S: 18mm T: 21mm  |   |   |   |   |   |    |   |
| N° CABLES  |   |   |   |   |   |    |   |
| 2: 2 Cables 3: 3 Cables 4: 4 Cables 5: 5 Cables 6: 6 Cables  |   |   |   |   |   |    |   |
| Ø CABLE (mm)   |   |   |   |   |   |    |   |
| 8: Ø8 9: Ø9 0: Ø10 1: Ø11 2: Ø12 3: Ø13 4: Ø14 5: Ø15  |   |   |   |   |   |    |   |
| TIPO GARGANTA  |   |   |   |   |   |    |   |
| S: Semicircular desfondada T: Trapecial en V desfondada V: Trapecial en V                                    |   |   |   |   |   |    |   |
| ÁNGULO β   |   |   |   |   |   |    |   |
| 85: β=85° 86: β=86° 87: β=87° 88: β=88° 89: β=89° 90: β=90° 91: β=91° 92: β=92°                              |   |   |   |   |   |    |   |
| 93: β=93° 94: β=94° 95: β=95° 96: β=96° 97: β=97° 98: β=98° 99: β=99° 00: β=100°                             |   |   |   |   |   |    |   |
| 01: β=101° 02: β=102° 03: β=103° 04: β=104° 05: β=105° 06: β=106° XX: Garganta trapecial en V                |   |   |   |   |   |    |   |
| ÁNGULO γ (Semicircular desfondada: γ=25°±40° Trapecial en V desfondada: γ=35°±40° Trapecial en V: γ=35°±40°) |   |   |   |   |   |    |   |
| A: γ=25° B: γ=26° C: γ=27° D: γ=28° E: γ=29° F: γ=30° G: γ=31° H: γ=32°                                      |   |   |   |   |   |    |   |
| I: γ=33° J: γ=34° K: γ=35° L: γ=36° M: γ=37° N: γ=38° P: γ=39° R: γ=40°                                      |   |   |   |   |   |    |   |

### CARACTERÍSTICAS POLEAS DE DESVÍO

- Polea Ø400.

- N° de cables y diámetros de cable, en función del ancho de la polea y del paso (cota P):

| Ancho L (mm) | Ø Cable 8, 9, 10mm |             |             | N° Cables máx |
|--------------|--------------------|-------------|-------------|---------------|
|              | Paso = 15mm        | Paso = 18mm | Paso = 21mm |               |
| 68           | 4                  | 3           | 3           |               |
| 98           | 6                  | 5           | 4           |               |

- Codificación poleas de desvío para la realización de la toma de pedido:

|   |    |    |   |   |    |
|---|----|----|---|---|----|
| Ejemplo   | DE | 68 | S | 2 | 09 |
| POLEA DESVÍO: DE  |    |    |   |   |    |
| ANCHO L (ANCHO POLEA)                                       |    |    |   |   |    |
| 68: 68mm 98: 98mm   |    |    |   |   |    |
| PASO P  |    |    |   |   |    |
| R: 15mm S: 18mm T: 21mm                                     |    |    |   |   |    |
| N° CABLES   |    |    |   |   |    |
| 2: 2 Cables 3: 3 Cables 4: 4 Cables 5: 5 Cables 6: 6 Cables |    |    |   |   |    |
| Ø CABLE (Ød)  |    |    |   |   |    |
| 08: Ø8mm 09: Ø9mm 10: Ø10mm                                 |    |    |   |   |    |

